Gouvernement du Canada
Ministère des Communications

Government of Canada
Department of Communications

Le Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail
Canadian Workplace Automation Research Centre

L'ergonomie cognitive des systèmes informatiques: état de la question et pistes de recherche

par

Luc Giroux, Ph.D.
et
Serge Larochelle, Ph.D.

Canada

L'ergonomie cognitive des systèmes informatiques: état de la question et pistes de recherche

par

Luc Giroux, Ph.D.
et
Serge Larochelle, Ph.D.

Université de Montréal

et

Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail

Juillet 1987

Ce document a été produit dans le cadre d'un projet de recherche au Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail Direction de la recherche organisationnelle., Communications Canada. Les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent que les auteurs.
*La version anglaise et française du sommaire sont aussi disponibles.

MDC-CCRIT-DLR- 85/6-019

90-02315/

Nous tenons à remercier Madame Cynthia Ingenito, étudiante à la maîtrise en Sciences de la communication à l'Université de Montréal, dont la collaboration nous a été précieuse tout au long de ce travail. Nous remercions aussi M. Amyot Bachand et Madame Jeannette Bellerose, du Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail, pour leur lecture attentive d'une version antérieure de ce rapport et leurs suggestions judicieuses.

Table des matières

Sommaire analytique I

Introduction 2

Chapitre 1 : Le développement du champ 5

1.1 De l'ergonomie à l'ergonomie cognitive 6
1.2 La communauté de recherche en ergonomie cognitive 11
1.3 Les grandes écoles 16

Chapitre 2 : Vers un système usager-ordinateur optimal 25

2.1 La notion d'interface 28
2.2 Le système usager-ordinateur 30
2.3 Les critères d'une interaction optimale 35

Chapitre 3 : Le système 50

3.1 La structure interne des ordinateurs 52
3.2 L'interface physique 56
3.3 L'interface cognitive 67

Chapitre 4 : L'usager 79

4.1 L'usager type 82
4.2 Les types d'usagers 86
4.3 L'usager individuel 97

Chapitre 5 : La tâche 100

5.1 Le traitement de texte 103
5.2 Les banques de données 108
5.3 La messagerie électronique 116

Chapitre 6 : Les pistes de recherche 121

6.1 Les interfaces à manipulation directe 123
6.2 Les modèles mentaux 126
6.3 Les interfaces intelligentes 129
6.4 L'interface organisationnelle 130

Liste des périodiques consultés 134

Références 135

Table des figures

Figure 1- Évolution des publications en ergonomie cognitive..... 14 bis

Figure 2- Modèle du système usager-ordinateur..... 30 bis

Figure 3- Modèle du «taux d'exploitation» de Eason..... 47 bis

Figure 4- Classification des langages de requête..... 114 bis

Figure 5- Classification des critères ergonomiques..... 115 bis

Sommaire analytique

L'étude présente l'état actuel des travaux dans ce nouveau domaine qu'est l'ergonomie cognitive des systèmes informatiques. Le rapport décrit les principaux problèmes ergonomiques que posent les nouvelles technologies informatiques, de même que les méthodes utilisées pour les résoudre et les résultats qui ont été obtenus. Enfin, les auteurs suggèrent des pistes de recherche susceptibles de faire progresser les connaissances en ce domaine. Le rapport comporte six chapitres. Les deux premiers chapitres situent l'ergonomie cognitive parmi les autres champs d'investigation scientifique et en décrivent la problématique générale. Les chapitres présentent successivement chacune des grandes composantes de l'interaction humain-ordinateur : le système informatique, l'usager humain et la tâche. Au dernier chapitre, on formule quatre recommandations de recherche.

Chapitre 1 : Le développement du champ

La première section du chapitre situe l'ergonomie cognitive par rapport à l'ergonomie traditionnelle et montre comment l'avènement des technologies informatiques a changé nos concepts d'outil et de machine. Alors que les machines et les outils traditionnels étaient destinés à opérer sur des objets physiques, l'ordinateur est essentiellement destiné à manipuler l'information. Ce nouvel outil oblige donc à redéfinir l'ergonomie en tant que discipline. Le but traditionnel de l'ergonomie, qui est d'adapter le travail à l'humain et la machine à l'opérateur, est préservé, mais cette adaptation ne peut plus être limitée aux seules habiletés perceptivo-motrices; elle doit aussi inclure les fonctions cognitives de l'être humain. Les connaissances issues de disciplines telles la psychologie cognitive et l'intelligence artificielle deviennent donc non seulement pertinentes mais nécessaires pour résoudre les problèmes ergonomiques que posent les relations humain-ordinateur. La section suivante du chapitre décrit la naissance des premiers centres de recherche axés sur ces problèmes ainsi que la fondation de sociétés savantes et l'émergence de revues spécialisées dans le domaine. Cette section contient en outre une liste de certains des principaux groupes de recherche actifs en matière d'interaction humain-ordinateur. Compte tenu du nombre de disciplines intéressées à ces recherches, il n'est pas étonnant de retrouver plusieurs approches méthodologiques différentes. Dans la troisième et dernière section du chapitre, ces différentes approches sont regroupées en quatre grandes écoles. L'école des lignes directrices vise, comme son nom l'indique, à établir des principes de base permettant de guider les ingénieurs dans la conception de systèmes qui soient mieux adaptés aux usagers. L'école expérimentale se caractérise par l'utilisation de la méthodologie scientifique classique. Cette méthode peut être utilisée à

plusieurs fins, allant de la validation de théories fondamentales sur les interactions humain-ordinateur à des tests particuliers sur des systèmes existants ou en voie de conception. Le but de l'école dite «calculatoire» est de développer des modèles qui permettent de prédire numériquement les conséquences de choix effectués au moment du design d'un système sur la performance ultime des usagers, ce qui réduirait la nécessité d'effectuer des tests empiriques souvent très coûteux en temps et en argent. Enfin, l'école des interfaces intelligentes vise à construire des systèmes qui soient eux-mêmes capables de s'adapter à l'usager.

Chapitre 2 : Vers un système usager-ordinateur optimal

Alors que la majorité des chercheurs en ergonomie cognitive visent à faciliter les interactions humain-ordinateur, peu s'entendent sur la façon d'y arriver. Ce deuxième chapitre se penche sur cette question générale qu'est la définition du concept d'interface entre l'usager et la machine. La première section présente plusieurs définitions de l'interface et montre qu'une définition trop restrictive, qui ne se limiterait qu'aux points de contact physiques entre l'usager et la machine, ne permettrait pas de concevoir des interactions plus harmonieuses entre l'humain et l'ordinateur. La deuxième section décrit un modèle général de ce que l'on peut qualifier de système usager-ordinateur. Ce modèle comporte trois grandes composantes : le système informatique, l'usager et enfin la tâche qui motive l'interaction. Le système informatique comporte lui-même plusieurs composantes : le logiciel d'interface, le matériel d'interface et le matériel interne à la machine. En ce qui concerne les usagers, il faut distinguer les capacités cognitives fondamentales, communes à tout être humain, des différences qui peuvent exister entre divers individus ou divers groupes d'usagers. Il faudrait aussi idéalement tenir compte des variations qui se produisent chez un même usager à différentes étapes de sa familiarisation avec le système et même en cours d'interaction. Enfin, les tâches qu'il est possible d'effectuer à l'aide d'un ordinateur sont de plus en plus diversifiées. Ces tâches se distinguent les unes des autres non seulement par leur nature, mais par leur complexité et par les méthodes d'interaction employées (que nous appellons les langages d'opération).

La troisième section du chapitre présente dix critères qui ont été proposés pour évaluer les interactions humain-ordinateur. Certains de ces critères sont liés à la performance de l'usager : vitesse d'exécution des tâches, taux d'erreurs commises et facilité avec laquelle ces erreurs peuvent être corrigées. D'autres critères sont liés à l'apprentissage : par exemple, facilité avec laquelle les connaissances relatives au système peuvent être apprises, retenues et appliquées à d'autre systèmes. Enfin, les autres critères présentés sont la puissance et la flexibilité du système, son acceptabilité et son taux d'exploitation par l'usager. Le problème posé par ces critères est qu'il est presque toujours impossible de les satisfaire tous à la fois, d'où la nécessité de faire des choix souvent difficiles.

Chapitre 3 : Le système

Ce chapitre porte sur le système informatique lui-même. Il est clair que, du point de vue de l'ergonomie cognitive, l'aspect le plus important d'un système informatique est le logiciel d'interface. Toutefois, les limites du logiciel d'interface sont ultimement posées par le matériel d'interface disponible et la puissance computationnelle de la machine. Une première section décrit donc brièvement certains aspects de l'architecture interne des ordinateurs, alors que la section suivante porte sur le matériel d'interface. Les principaux modes d'entrée d'information tels les claviers et les différents mécanismes de positionnement du curseur y sont décrits, ainsi que les principaux modes de sortie tels les imprimantes et les écrans. Certaines recherches portant sur des interfaces multi-modales sont aussi présentées. Ces sections montrent que les ressources technologiques à la disposition des concepteurs de logiciels sont énormes et que, par conséquent, les logiciels d'interface actuels sont davantage limités par des lacunes dans nos connaissances théoriques en matière de traitement de l'information en général et chez l'humain en particulier. La troisième section du chapitre porte sur l'interface cognitive et passe en revue certaines recherches qui illustrent les difficultés rencontrées par les usagers dans l'apprentissage et l'utilisation des syntaxes et des vocabulaires artificiels requis pour interagir avec l'ordinateur. Ces problèmes seraient en partie solutionnés s'il était possible d'interagir oralement et en langage naturel avec l'ordinateur. Toutefois, il n'existe pas encore de procédure générale pour la reconnaissance automatique de la parole ni pour la compréhension automatique du langage. Cette section traite aussi brièvement des interfaces relativement récentes basées sur une représentation imagée des concepts et sur une manipulation directe de ces images communément appelées icônes. Bien que de telles interfaces à manipulation directe semblent nettement plus faciles à utiliser, nous savons encore peu de choses sur les représentations mentales de l'espace et des images chez les usagers.

Chapitre 4 : L'usager

La première section du chapitre présente tout d'abord un modèle de l'usager type. Bien que ce modèle soit fondé sur vingt années de recherches en psychologie cognitive, il n'englobe que les capacités cognitives de base de l'être humain, qui devraient par conséquent être communes à tous les usagers. La deuxième section porte sur les différences entre usagers qui ont été identifiées et étudiées. Une première voie de recherche, issue de la psychologie différentielle classique, porte sur les différences d'aptitudes, d'habiletés et de styles parmi les divers usagers des systèmes informatiques. Une deuxième voie de recherche, issue de l'ergonomie, utilise des critères plus pragmatiques pour classifier les usagers des systèmes informatiques, comme la nature de l'emploi, la motivation et le niveau d'expertise. Ces deux derniers critères illustrent un des problèmes inhérents à de telles classifications : un même usager peut changer de catégorie lorsque son niveau

d'expertise change, et même au gré de ses motivations quotidiennes. La seule façon de tenir compte de ces variations est de créer des interfaces plus malléables, capables de s'adapter aux demandes de l'usager. La dernière section décrit différentes façons d'aborder les problèmes de l'interface en intelligence artificielle.

Chapitre 5 : La tâche

Le cinquième chapitre est consacré au problème de la tâche et traite plus spécifiquement de trois des principales tâches en bureautique, à savoir le traitement de texte, la création et la recherche d'information dans les banques de données, et la messagerie électronique. La première section porte sur la tâche d'édition de texte, qui est sans contredit celle qui a reçu le plus d'attention en ergonomie cognitive. Aussi les recherches décrites dans cette section sont-elles très variées. La section suivante porte sur les banques de données et montre qu'alors que les principaux problèmes rencontrés dans le traitement de texte sont surtout relatifs à la syntaxe du système, les banques de données posent avant tout des problèmes de nature sémantique. Différentes façons d'organiser les informations dans les banques de données sont décrites, ainsi que différentes façons d'y accéder. Une dernière section porte sur la messagerie électronique et s'attarde au problème de la «paperasse électronique», c'est-à-dire la discrimination de la pertinence des messages reçus. Ce problème peut sembler prosaïque et sans grande importance, mais tel n'est pas le cas. Dans un monde de communication électronique, le manque de sélectivité dans la distribution des messages entraîne rapidement des pertes de temps et des coûts considérables. Par ailleurs, une trop grande sélectivité peut empêcher qu'un message important n'atteigne le bon destinataire. La section présente quelque-unes des solutions envisagées.

Chapitre 6 : Les pistes de recherche

Ce dernier chapitre se veut délibérément plus subjectif que les précédents, puique les auteurs y exposent les pistes de recherche qu'ils croient les plus susceptibles de contribuer au développement d'une interaction optimale. Le premier domaine de recherche suggéré est celui des interfaces à manipulation directe. Une des raisons qui motivent ce choix est que ces interfaces sont récentes et appelées non seulement à se généraliser mais aussi à se développer. Or on ne connaît encore que peu de choses sur les avantages cognitifs de telles interfaces et sur les représentations que s'en fait l'usager.

La seconde recommandation porte sur l'étude des modèles mentaux développés par les usagers : il est nécessaire de mieux comprendre de quelle façon l'usager conceptualise le fonctionnement du système avec lequel il interagit. Plusieurs recherches démontrent en effet que les usagers possèdent en général des modèles mentaux inadéquats, ce qui entraîne une utilisation non optimale du système et paralyse l'usager en cas d'erreur.

La troisième recommandation porte sur le développement d'interfaces intelligentes, c'est-à-dire qui s'appuient sur la recherche en intelligence artificielle. Il est en effet important que les systèmes eux-mêmes possèdent une meilleure «compréhension» de l'usager et de la tâche. Nous recommandons donc la poursuite des recherches en intelligence artificielle appliquée au développement d'interfaces, même si les bénéfices de ces recherches ne sont pas immédiats.

Une quatrième et dernière recommandation porte sur l'étude de ce que l'on pourrait appeler «l'interface organisationnelle», et qui concerne la façon dont les gens organisent leur travail individuel et collectif. Plusieurs observations tendent en effet à montrer que la qualité de l'interaction dépend non seulement du système, de l'usager et de la tâche, mais aussi du contexte organisationnel dans lequel elle se produit : par exemple, la secrétaire doit souvent répondre à des contraintes qui limitent sa maîtrise de l'appareil, le cadre ne voudra pas consacrer le temps nécessaire à un apprentissage adéquat, etc. Par ailleurs, il est essentiel d'analyser comment l'utilisation de la technologie informatique s'inscrit dans l'ensemble des tâches des usagers, de façon à déterminer ses conséquences sur la productivité globale de l'usager et de son organisation.

Introduction

On a beaucoup parlé depuis quelques années de l'évolution rapide des technologies informatiques, au point que l'évocation du phénomène relève presque du cliché.

En fait, ce cliché est en deçà de la réalité : la technologie informatique a connu au cours des dernières décennies une évolution absolument foudroyante, peut-être encore jamais vue dans les annales de l'histoire humaine. Selon Birnbaum (1982), le rapport performance/coût du matériel («hardware») informatique aura augmenté d'un facteur d'un million entre 1955 et 1985. À titre de comparaison, on estime que si l'industrie de l'aéronautique avait connu au cours des 25 dernières années une évolution similaire à celle de l'informatique, un Boeing 767 coûterait 500 $ et pourrait faire le tour du globe en vingt minutes avec vingt litres de carburant (Toong et Gupta, 1982).

La miniaturisation et la puissance toujours accrue du matériel ont eu entre autres deux conséquences majeures, soit la multiplication des champs d'application et la diversification des usagers.

Les premiers ordinateurs comme ENIAC, mis au point en 1946, avaient pour seule fonction le calcul balistique à des fins militaires. À cette époque, on n'envisageait le recours aux ordinateurs que pour effectuer des opérations mathématiques complexes, si bien que pour plusieurs, l'*ère informatique* a été perçue comme terminée avant même d'avoir véritablement commencé : Bowden (1970, dans Nickerson, 1986) rapporte avoir consulté en 1950 un éminent spécialiste britannique afin d'évaluer la viabilité d'une entreprise qui se spécialiserait dans la fabrication d'ordinateurs à des fins commerciales. Il s'était vu répondre que l'entreprise serait vouée à la faillite, puisque les trois ordinateurs existant à cette époque suffiraient

largement à effectuer tous les calculs dont l'Angleterre aurait jamais besoin. D'autres avaient à la même époque évalué le marché informatique à une douzaine de machines pour l'ensemble des États-Unis (Diebold, 1969, dans Nickerson, 1986).

Ces anecdotes font aujourd'hui sourire, en ces temps où l'on spécule sur le rôle de l'informatique dans presque toutes les sphères de l'activité humaine. Notre but n'est pas ici d'extrapoler sur les applications innombrables de l'informatique et sur leurs conséquences, puisque de nombreux autres l'ont déjà fait : on se référera entre autres à Abelson (1982), au Conseil des sciences du Canada (1982), à Cordell (1985), à Evans (1980), à Godfrey, Madden, Parkhill et Ouimet (1980), à Naisbitt (1984) et à Toffler (1980). Mais quel que soit le scénario envisagé, il est clair que les technologies liées à l'informatique sont en pleine expansion et qu'elles le demeureront encore dans un avenir prévisible.

La deuxième conséquence de l'évolution du matériel est corollaire à la première : en diversifiant ses champs d'application, l'informatique a multiplié ses usagers potentiels. S'il fut un jour possible de caractériser (encore que grossièrement) l'usager typique de l'ordinateur comme un spécialiste de la programmation prêt à toutes les frustrations pour obtenir le résultat espéré, l'usager contemporain est devenu insaisissable parce que trop variable : niveau de motivation, niveau d'expertise technique, fréquence d'usage ne sont que quelques-unes des sources de variation entre les usagers, sans compter la transformation qui s'opère chez un même usager avec la pratique. Une chose est claire : l'usager contemporain est en général beaucoup moins tolérant et exige un système plus facile à maîtriser et à utiliser. Ces transformations majeures du potentiel de l'informatique ont eu à leur tour des conséquences marquées sur l'économie de son marché. D'une part, la compétition très vive a fait en sorte que l'industrie est de plus en plus orientée vers la mise en marché, ce qui pousse les concepteurs à répondre avec efficacité aux besoins de la clientèle plutôt que d'offrir simplement des machines plus puissantes. Selon Burch (1984), l'industrie est maintenant plus axée sur le client («market driven») que sur la technologie («technology driven»). D'autre part, on a parlé longtemps de l'évolution des coûts relatifs du matériel vers le logiciel, le second occupant une place toujours

plus grande. Il faut maintenant parler du transfert des coûts de l'informatique à l'humain : dans une multitude de domaines d'application, et en particulier dans le contexte bureautique, le coût de l'investissement informatique tend à devenir négligeable par rapport aux salaires des individus qui en sont les utilisateurs. La composante humaine tend à devenir le facteur clé de ce qu'il conviendra d'appeler le système personne-machine. Il faut donc analyser les ressources et les limites de la personne et développer la composante informatique pour qu'elle maximise le potentiel de son partenaire humain. C'est pourquoi l'étude des «facteurs humains» occupe une place de plus en plus prépondérante dans la planification, la conception et la mise en marché des systèmes informatiques modernes.

Le présent document se veut une présentation critique de ce qu'il est maintenant convenu d'appeler l'«ergonomie cognitive» des systèmes informatiques, qui constitue une réorientation majeure des travaux de l'ergonomie contemporaine. Dans un premier temps, nous tenterons de définir le champ de l'ergonomie cognitive en le situant sur les plans théorique et pratique. Après avoir tracé un aperçu historique et défini les paramètres fondamentaux de cette science appliquée, nous présenterons un modèle du système personne-ordinateur qui servira de cadre d'analyse pour la seconde section du document, où seront présentés l'état des connaissances et les principaux objets de recherche actuels. Nous conclurons enfin par un retour critique sur la problématique de l'ergonomie cognitive en formulant quelques recommandations sur les pistes de recherche à suivre.

Chapitre 1

Le développement du champ

1.1 De l'ergonomie à l'ergonomie cognitive

L'ergonomie

L'ergonomie est une discipline toute récente : le terme lui-même (du grec *ergon* , travail et *nomos* , lois naturelles) fut adopté «officiellement» en 1949, lors de la fondation de l'«Ergonomic Research Society» en Angleterre. Aux États-Unis, on lui a préféré le terme de «Human Engineering» ou encore de «Human Factors».

L'ergonomie s'est imposée comme discipline sous la pression des développements technologiques de la première moitié du XX^{e} siècle, qui ont considérablement accru la puissance mais aussi la complexité des machines à utiliser : qu'on songe au nombre de cadrans et de manettes qui meublent un cockpit d'avion ou, plus simplement, à la conduite d'une automobile qui exige souvent la manipulation simultanée de plusieurs contrôles. De toute évidence, il fallait tenir compte des capacités physiologiques et perceptives de l'opérateur pour que ces machines soient utilisables.

C'est ainsi qu'est née l'ergonomie, qui peut être définie comme «le rassemblement des connaissances sur le fonctionnement de l'homme en activité, afin de les appliquer à la conception des tâches, des outils, des machines et des systèmes de production» (Laville, 1976), ou encore comme la science de «l'adaptation du travail à l'homme, c'est-à-dire l'adaptation du poste de travail, des outils, des machines, des horaires et du milieu ambiant aux exigences de l'homme» (Grandjean, 1969).

Quelle que soit la définition adoptée, la prémisse reste en général inchangée : l'ergonomie est avant tout une science humaine appliquée qui a pour but de transformer la technologie pour l'adapter à l'humain, et non l'inverse. La nuance est d'importance : l'ergonomie n'est pas tournée vers les problèmes de la formation du personnel. Il ne s'agit pas

d'entraîner l'opérateur d'une machine afin qu'il devienne plus efficace (bien que la formation ne soit évidemment pas exclue), mais bien d'étudier les capacités humaines et de construire une machine qui soit fonction de ces capacités, de sorte que la performance du système humain-machine soit sécuritaire, efficace et fiable.

Trois groupes de disciplines ont fait converger leurs efforts en ergonomie : les *sciences biologiques* (anatomie, physiologie, médecine) fournissent les connaissances sur les capacités et les limites physiques de l'être humain : force, résistance à l'effort et à la fatigue, etc. La *psychologie expérimentale* et la *psychophysiologie* étudient les contraintes imposées par le système nerveux, les capacités perceptives et motrices de même que les capacités d'apprentissage. Enfin, la *physique* et le *génie industriel* offrent les outils pour mesurer et modifier la technologie et l'environnement dans lequel se déroule la tâche (Oborne, 1982). Aujourd'hui, le champ de l'ergonomie «classique» s'est doté d'une panoplie impressionnante de méthodes et d'instruments : analyse de charge, tables anthropométriques, courbes de portée générées par ordinateurs, etc. (Kantowitz et Sorkin, 1983; McCormick et Sanders, 1982; Roebuck, Kroemer et Thompson, 1975).

Toutefois, à l'instar de ce qui s'est passé lors de la Seconde Guerre mondiale, la technologie a encore une fois pris une longueur d'avance : à l'ère de la micro-informatique, l'ergonomie classique ne suffit plus. C'est pourquoi on a vu au cours des dernières années se développer une discipline (qu'on peut ou non considérer comme une sous-discipline de l'ergonomie) vouée aux mêmes objectifs, mais centrée sur les caractéristiques propres aux technologies informatiques, et faisant appel surtout à la *psychologie cognitive*, à la *linguistique computationnelle* et, de plus en plus, à l'*intelligence artificielle*. Cette discipline, c'est l'**ergonomie cognitive**, qu'on a aussi appelée «science de l'usager» (Vallée, 1976; voir aussi Card, Moran et Newell, 1983), «psychologie du logiciel» (Shneiderman, 1980a), «psychologie de l'usager» (Moran, 1981a) et «ingénierie cognitive» (Norman, 1980; Hollnagel et Woods, 1983).

L'ergonomie cognitive

Comme on s'en doute, la frontière entre ergonomie traditionnelle et ergonomie cognitive n'est pas clairement délimitée. En fait, il s'agit moins d'une question de nature que de ce sur quoi la discipline met l'accent, et l'on comprendra mieux pourquoi en opposant les technologies industrielles classiques à la technologie informatique.

Le développement de la technologie micro-informatique est venu modifier radicalement le type de machines que les humains doivent désormais faire fonctionner. Alors que la machine industrielle a généralement comme fonction de manipuler des **objets** dans l'espace ou d'agir sur des forces physiques (l'automobile et la grue mécanique en sont des exemples typiques), c'est l'**information** qui sera manipulée par la machine informatique. On passe donc des objets physiques aux chaînes symboliques, ce qui modifiera à la fois la complexité et la nature des échanges entre l'opérateur et la machine (Giroux, 1983).

En premier lieu, il faut rappeler que la machine industrielle est en général unifonctionnelle; qu'il s'agisse d'une machine à coudre ou d'une automobile, les variations de commande demeurent centrées sur l'accomplissement d'une tâche unique, qui est la raison d'être de l'objet technique industriel. Au contraire, la machine informatique est, de par sa nature même, une machine de Turing (1950) que l'on peut vouer à un ensemble théoriquement infini d'applications. Concrètement, il est facile de trouver des exemples d'appareils simples qui sont devenus multifonctionnels avec l'arrivée du microprocesseur. Comme le dit Card (1984), il sera bientôt nécessaire d'équiper un simple thermostat d'un clavier alphanumérique afin de pouvoir programmer toutes ses fonctions potentielles. L'ergonomie doit donc analyser des tâches plus complexes mais aussi plus variées, et qu'il faudra intégrer dans un même environnement de travail.

La machine informatique a changé aussi la nature des échanges entre l'humain et la technologie. La relation a pris la forme d'une interaction proche du dialogue en temps réel et ne se fait plus suivant les mêmes modalités. Dans les échanges avec une machine industrielle, les composantes perceptives et psychomotrices sont omniprésentes, et les contrôles sont

analogiques : manipulation de leviers, de cadrans et de pédales, perception du mouvement et des formes, etc. L'informatique a imposé dès le départ une interaction «digitalisée» (on verra cependant plus loin que l'on tend à revenir au mode analogique), et c'est la composante cognitive qui est devenue centrale : les tâches elles-mêmes sont de nature hautement cognitive (programmation, traitement de texte, récupération de données, etc.) et l'interaction de nature désormais symbolique : il ne s'agit plus de faire fonctionner une machine qui obéit, mais de dialoguer avec un système qui présente plusieurs des caractéristiques d'un véritable interlocuteur (Nickerson, 1977). L'interaction avec un ordinateur est avant tout d'ordre intellectuel : c'est donc vers l'**étude des processus mentaux** à l'oeuvre lors de celle-ci qu'il a fallu se tourner. Par exemple, les problèmes d'ordre perceptif liés à la lecture d'un menu sur un écran ne seront pas totalement écartés, mais on tentera surtout de comprendre les processus cognitifs qui encadrent cette lecture : quel est le rôle de l'information ou de la commande cherchée par rapport à la stratégie de l'usager? La consultation du menu est-elle pour lui une tâche de reconnaissance ou de classification? Sa méthode de balayage du menu sera-t-elle influencée par la nature de sa tâche? Si oui, l'organisation des rubriques du menu favorise-t-elle cette méthode? (Giroux, 1986; Giroux et Belleau,1986; Giroux, Bergeron et Lamarche, sous presse).

Ergonomie cognitive et science cognitive

De nombreux chercheurs en **science cognitive** sont rapidement et presque naturellement devenus des spécialistes de l'interaction individu-ordinateur. Au croisement de la psychologie cognitive, de la linguistique computationnelle et de ce champ de l'informatique qu'est l'intelligence artificielle, la science cognitive se propose de comprendre les fondements de la cognition humaine, les mécanismes intellectuels étant conçus comme un système de traitement de l'information symbolique. Dans cette optique, le comportement est considéré comme dirigé par un modèle interne de l'environnement construit par le sujet, qui applique ce

modèle pour planifier ses actions, prendre des décisions, formuler les messages à transmettre et interpréter les messages reçus (Hollnagel et Woods, 1983; Johnson-Laird, 1980).

Cet intérêt presque spontané de plusieurs chercheurs en cognition envers la dimension psychologique de l'usage des ordinateurs est assez compréhensible. Les ordinateurs sont en effet depuis longtemps un outil de travail quotidien dans les laboratoires de psychologie cognitive où ils servent, d'une part, à contrôler les expériences portant souvent sur cette mesure privilégiée qu'est le temps de réponse (Lachman, Lachman et Butterfield, 1979) et, d'autre part, à réaliser les simulations informatiques qui sont considérées comme une méthode particulièrement efficace de validation empirique des théories. Par ailleurs, la nature même des tâches effectuées sur ordinateur, qui sont réalisées à l'intérieur d'un ensemble restreint et bien défini de règles, fait de l'interaction individu-ordinateur un terrain de premier choix pour appliquer les théories du traitement humain de l'information, puisque ces théories cherchent précisément à décrire le comportement du point de vue des «procédures effectives» ou programmes (Newell et Simon, 1972). En retour, l'interaction individu-ordinateur fournit des données empiriques jamais encore observées et présente l'avantage de mettre en présence un interlocuteur humain et un partenaire dont tous les paramètres sont connus.

Les nouveaux «ergonomes cognitivistes» se sont donc attaqués aux trois principales composantes du système individu-ordinateur : l'usager lui-même, le système informatique et la tâche à accomplir. Du côté de l'usager, on se penchera sur la mémoire à court terme, la représentation en mémoire à long-terme, l'attention, l'apprentissage, la résolution de problème, la planification et le langage qui étaient déjà des terrains d'étude privilégiés. Du côté du système informatique, l'exigence de suffisance que se sont donnés les théoricens du traitement de l'information (c'est-à-dire atteinte d'un degré de précision tel qu'il permette de simuler ou de reproduire symboliquement le comportement) a fait en sorte qu'il est courant de formaliser les modèles sous forme de programmes. Le système informatique ayant donc, de ce point de vue, les caractéristiques d'un système de traitement de l'information symbolique, il peut faire l'objet du même examen : structure de la mémoire, heuristiques de

traitement, étude des caractéristiques des langages artificiels, etc. La science cognitive apporte enfin de nouvelles méthodes pour décrire et analyser les tâches, non plus seulement en fonction de la performance, mais en fonction du processus de résolution de problème ou d'exercice cognitif routinier (Ericsson et Simon, 1985).

La recherche en ergonomie cognitive est en plein essor, et on trouve à travers le monde un nombre croissant de centres de recherche.

1.2 La communauté de recherche en ergonomie cognitive

Compte tenu de la nouveauté et de la croissance rapide du domaine (les pionniers de l'ergonomie cognitive sont, presque sans exception, encore tous des chercheurs actifs), il est difficile de tracer un portrait clair de la communauté de recherche actuelle, ni surtout un portrait complet. Nous nous référerons donc à un bref survol effectué par Burch (1984), de même qu'à Shackel (1985), et nous compléterons cette étude par nos connaissances personnelles du domaine.

Les premiers centres

Dès le début des années 60, on trouve quelques travaux sur l'ergonomie des systèmes informatiques (voir entre autres English et Engelbart, 1967; Licklider, 1960, dans Nickerson, 1986). Le premier congrès sur la question de l'interaction personne-ordinateur semble être le «IBM Scientific computing Symposium on Man-Machine Communication», qui a eu lieu à Yorktown Heights en 1965. Mais ce n'est qu'au début des années soixante-dix que l'on voit naître des groupes de recherche plus spécifiquement centrés sur les aspects cognitifs de l'ergonomie des systèmes informatiques.

En fait, l'année 1970 marque un tournant décisif dans le domaine de l'ergonomie cognitive, puisqu'on assiste à la création de deux centres de recherche importants. En

Angleterre, B. Shackel fonde à l'Université de Loughborough le «Research Group on Human Sciences and Advanced Technology» (HUSAT), qui sera l'école de formation de nombreux chercheurs actuels et le lieu d'incubation de plusieurs travaux majeurs. Au même moment, la firme Xerox fonde le «Palo Alto Research Center» (PARC), qui attirera des chercheurs ayant une réputation internationale dans plusieurs domaines comme la psychologie cognitive, l'intelligence artificielle et le design de systèmes. Le centre acquerra une réputation mondiale, entre autres grâce au développement des interfaces à «manipulation directe». C'est à PARC, en 1974, que sera mis sur pied le «Applied Information Processing-Psychology Project», d'où sont issus certains des meilleurs théoriciens actuels en ergonomie cognitive.

Les sociétés savantes

Jusqu'au début des années 80, les chercheurs en ergonomie cognitive se sont surtout fait connaître au sein des grandes sociétés savantes d'ergonomie (la «Human Factors Society» aux États-Unis, l'«Ergonomic Society» en Angleterre). Depuis quelques années, on assiste cependant au regroupement des chercheurs à l'intérieur de sociétés plus autonomes : l'ACM («Association for Computing Machinery»), qui est sans doute la plus ancienne et la plus importante société informatique américaine sinon mondiale, fonde le groupe SIGCHI («Special Interest Group in Computer-Human Interaction»), qui organise un congrès annuel depuis 1981. En 1986, le congrès CHI'86 regroupait plus de 1 500 participants.

En Europe, le développement a été plus lent : plusieurs congrès importants ont eu lieu depuis 1982 (Conférences européennes d'ergonomie cognitive (CEEC) à Amsterdam en 1982, à Gmünden en 1984 et à Paris en 1986; INTERACT'84 à Londres; MACINTER-1 à Berlin en 1984), mais sans que soit formée une société exclusivement consacrée à l'ergonomie cognitive. Le 18 septembre 1986, les participants au CEEC de Paris décidaient cependant de se regrouper au sein de l' «European Association for Cognitive Ergonomics» (EACE), qui devrait voir le jour lors du congrès INTERACT, à Stuttgart, en 1987.

Une première tentative de regroupement intercontinental eut lieu à Hawaii en 1984, lors du premier «Japanese/American Joint conference on HCI». La participation internationale ayant été plus importante que prévu, le congrès est devenu l'«International Conference on Human-Computer Interaction» (Hawaii, août 1987).

Plusieurs autres congrès ont eu lieu un peu partout à travers le monde, et on peut croire que plusieurs sociétés savantes sont en gestation; il faudra attendre quelques années avant que les choses se stabilisent, mais toute cette activité témoigne éloquemment de la croissance rapide du domaine.

Publications

La croissance de l'ergonomie cognitive s'est accompagnée d'un virage marqué du contenu des principales publications en ergonomie («Le Travail Humain», «Applied Ergonomics», «Ergonomics» et «Human Factors») et de certaines revues informatiques comme l'«International Journal of Man-Machine Studies». Comme dans le cas des sociétés savantes, les publications tendent à se démarquer de l'ergonomie classique, comme en témoigne la naissance des revues «Behaviour and Information Technology» (BIT) et «Human-Computer Interaction» (HCI).

Depuis le livre de Martin (1973) intitulé «Design of Man-Computer Dialogue», les publications sous forme de livres et de comptes rendus de conférences se sont multipliées, plusieurs volumes récents ayant des titres comme «The psychology of Human-Computer Interaction» (Card *et al.*, 1983), «Human factors and interactive computer systems» (Vassiliou, 1984), «Human factors in computer systems» (Thomas et Schneider, 1984), «Software psychology» (Schneiderman, 1980a), «Advances in human-computer interaction» (Hartson, 1985), «User centered system design» (Norman et Draper, 1986) et «Using Computers» (Nickerson, 1986). La figure 1, tirée de Shackel (1984), illustre la croissance rapide du nombre de livres et de comptes rendus de conférences sur l'ergonomie des systèmes

informatiques. Tous ne sont pas consacrés uniquement aux problèmes cognitifs, mais ces derniers y occupent une large place.

FIGURE 1

Les centres actuels.

Le domaine de l'ergonomie cognitive a connu une croissance nettement plus rapide aux États-Unis qu'en Europe, et ce surtout grâce à l'apport de l'industrie. Alors qu'en Europe, la recherche s'effectue surtout dans les laboratoires universitaires et les organismes gouvernementaux, les grandes firmes informatiques américaines comme Xerox, DEC et IBM ont rapidement pris les devants, si bien que le «design d'interface» est devenu une phase non négligeable du développement de nouveaux produits. On notera de plus l'injection assez massive de fonds militaires dans la recherche privée.

Le lecteur trouvera ici une courte liste des principaux foyers de recherche que nous avons pu identifier en Amérique et en Europe; cette liste ne saurait à être exhaustive : seuls ont été retenus certains des centres les plus connus, tant en milieu universitaire que privé. Dans plusieurs cas, on trouvera entre parenthèses le nom d'un des chercheurs actifs, à titre de référence.

Canada
-Behavioral Research Group, Ministère des Communications du Canada
(T. Whalen,)
- Université Carleton (J. Tombaugh)
- Computer Systems Research Institute, Université de Toronto (W.Buxton)
- Université de Calgary (B. Gaines)
- Université de Victoria (E.Lee)

Etats-Unis
Universités
- Carnegie-Mellon University (A. Newell)
- George Washington University (J. Foley)
- John Hopkins University (J. Chapanis)
- Massachussetts Institute of Technology

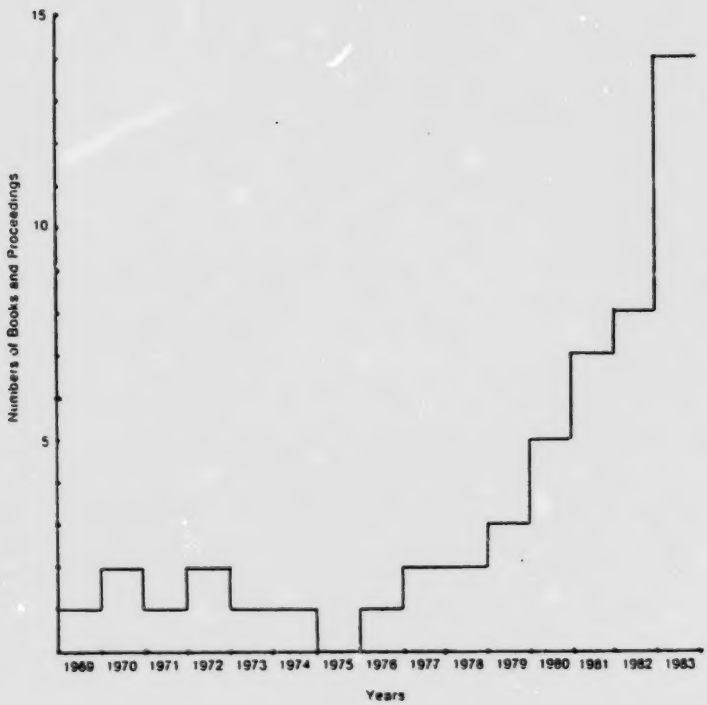

Figure 1- Evolution des publications en ergonomie cognitive (Shackel, 1985)

(R. Bolt et N. Negroponte)
- University of California in San Diego (D. Norman)
- University of Maryland (B. Shneiderman)
- Virginia Institute of technology (R. Williges)
- Yale University (E. Soloway)

Entreprises
- AT&T Bell Labs
- Bell Communication Research (T. Landauer)
- Bolt, Beranek & Newman Labs Inc. (R. Nickerson)
- Digital Equipment Corporation (J. Whiteside)
- Hewlett-Packard Labs (J. Rosenberg)
- Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC) (B. Curtis)
- User Interface Institute, IBM corp (J. Gould)
- Xerox Corporation (J.S. Brown)

France
- Institut National de la Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), Rocquencourt, Sophia-Antipolis et Rennes (P. Falzon)
- Laboratoire de Psychologie du travail de l'École Pratique des Hautes Études (EPHE), Paris.(J.M. Hoc)

Grande-Bretagne
- Human Computer Interface Research Unit, Leicester Polytechnic, Leicester.
- HUSAT, University of Technology, Loughborough (B. Shackel)
- MRC Applied Psychology Unit, Cambridge (T.R.G. Green)
- University of Lancaster (S. Payne)

République fédérale d'Allemagne
-Fraunnhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart. (J.E.Ziegler)
- IBM Wissenschaftliches Zentrum, Software Ergonomics Group, Heidelberg. (G.Rohr)
- Université technique d'Aachen (N.A. Streitz)
- Université Humboldt, Berlin (F.Klix)

Suisse
- Institut für Informatik, Zürich

Suède
- Université de Göteborg (C.M.Allwood)
- Université de Stockholm (Y. Waern)

Danemark
- Riso National Laboratory (E. Hollnagel)

Pays-Bas
- Free University, Amsterdam (G.C. Van der Veer)

Italie
- Instituto di Psicologica del CNR, Rome (S. Bagnara)

1.3 Les grandes écoles

L'ergonomie cognitive se veut une science appliquée à l'optimisation de l'interaction humain-ordinateur; encore faut-il savoir quand et comment elle doit intervenir sur son objet d'étude.

Trois **moments** d'intervention sont possibles : avant, pendant, ou après la mise en place de l'interface-usager. Avant la phase d'essai, c'est-à-dire au moment de la conception du système «sur papier», le concepteur sera guidé par les principes et les instruments que lui fournira l'ergonomie. Au moment de la phase d'essai du prototype, elle lui donnera les méthodes pour tester les alternatives de design ou pour déceler les problèmes rencontrés par les usagers. Une fois le design finalisé, l'ergonomie devra mettre à la disposition des décideurs les instruments capables de mesurer l'efficacité réelle du produit et de faire une évaluation comparée des systèmes.

C'est évidemment au premier moment du design que l'intervention de l'ergonomie cognitive peut s'avérer la plus rentable, puisque chaque gain à ce stade raccourcit d'autant la durée du cycle conception-essai-modification. Par ailleurs, la procédure à suivre pour développer et tester l'interface est encore mal définie, et beaucoup de travaux actuels portent sur ce problème de la *méthodologie du design*, qui ne sera pas abordé ici.

Quant au **mode** d'intervention, on trouve dans le domaine quatre approches : l'école dite des principes directeurs, l'école expérimentale, l'école calculatoire et l'école que nous appellerons celle des «interfaces intelligentes». La distinction que nous apportons ici n'est pas une typologie habituelle dans le domaine, bien qu'elle s'inspire en partie de l'analyse de Moran (1981a). Elle nous apparaît toutefois comme une grille pertinente pour comprendre et réduire la disparité apparente des travaux actuels.

L'école des principes directeurs ("guidelines")

Lors d'une enquête menée auprès de concepteurs de systèmes, Smith et Mosier (1984) montrent que ceux-ci estiment qu'environ 35 % du logiciel d'un système est consacré à l'interface-usager; il est donc clair que le design de cette partie du logiciel est une de leurs fonctions importantes, tant du point de vue de l'énergie et de coût du développement que du point de vue de l'impact sur l'efficacité du produit. L'approche dite des principes directeurs se veut une réponse directe à cette préoccupation des concepteurs : avoir à leur disposition des principes, des lignes directrices, des règles à suivre, voire des algorithmes ou des standards pour le design de l'interface. Signalons qu'il est important de distinguer standards et principes directeurs : alors que les standards sont en général des règles formelles imposées par législation ou par décret du constructeur, les principes directeurs ne sont que des principes plus ou moins généraux, sur lesquels il y a un certain consensus, mais que chacun est libre d'adapter à ses besoins particuliers. Pour l'instant, les standards sont surtout du domaine du matériel (par exemple : nombre de lignes sur l'écran, configuration du clavier, etc.), et nos connaissances de l'interface sont encore trop imprécises pour que les principes énoncés deviennent des standards (Smith, 1986).

Cela dit, les travaux qui produisent des listes de principes à suivre sont sans doute les plus influents à l'heure actuelle, car ils répondent aux besoins les plus pressants de leurs utilisateurs. C'est pourquoi la littérature abonde de telles listes (voir, entre autres, la synthèse de Maguire, 1982a, et la liste de références donnée par Nickerson, 1986, p.225), même si plusieurs considèrent comme prématuré et même nuisible le recours trop facile à ce qu'ils perçoivent comme des recettes sans fondement rigoureux (Norman, 1983; Payne, 1985).

Les principes vont de conseils extrêmement généraux («tenez compte de l'usager», «soyez cohérents», etc.; Heckel, 1984) à des recommandations beaucoup plus précises sur les formats d'affichage, la formulation de messages d'erreurs ou le «chunking» des chaînes de caractères (Harris, 1986), en passant par des niveaux intermédiaires de généralité (Gaines et

Shaw, 1983). Certains sont énoncés à la suite d'évaluations de systèmes, alors que d'autres tirent leur source de résultats expérimentaux, mais la plupart sont le fait de praticiens expérimentés qui se fondent sur leur intuition et leurs connaissances pour dégager leurs recommandations.

L'emploi de tels principes présente à la fois des avantages majeurs et des limites évidentes. Les principes sont souvent fondés sur des observations empiriques de cas réels de réussite ou d'échec; ils constituent une source de documentation et un instrument de travail accessibles aux concepteurs qui doivent solutionner à court terme des problèmes concrets. Ils sont souvent la seule solution de rechange possible au moment de la conception de l'interface, car les données d'expérimentation arrivent presque toujours trop tard, c'est-à-dire lorsque les choix cruciaux ont déjà été faits. Les défenseurs de cette école avancent enfin que dans l'état actuel des choses, l'interface est un monde incertain pour lequel on ne possède pas de théorie générale fiable; qu'on le veuille ou non, la qualité du design repose pour une large part sur le jugement du concepteur. Tout compte fait, mieux vaut qu'il puisse se fier à des principes qui font consensus plutôt qu'à sa seule intuition (Smith, 1986).

Par contre, l'utilisation des principes directeurs ne va pas sans poser de problème. Au plan plus théorique, les principes nous écartent des questions de fond; ils font rarement l'objet de validation, et certains se sont révélés carrément faux dans des situations concrètes. Ils sont souvent formulés à partir de quelques observations et généralisés à l'ensemble des cas, sans tenir compte de l'interaction avec une foule d'autres facteurs, comme le genre d'usagers et la nature de l'application. Cette généralisation abusive mène parfois à des recommandations contradictoires, comme le souligne Maguire (1982a), et ne tient aucun compte de la question des compromis («trade-offs») à faire quant à la priorité relative des dimensions à optimiser (Norman,1983).

Au plan pratique, les principes directeurs sont loin de satisfaire entièrement ceux à qui ils sont destinés, même s'ils sont considérés comme utiles. Mosier et Smith (1986) ont interrogé 130 intervenants du milieu du design auxquels on avait fourni une liste de principes

un an auparavant. En moyenne, les répondants déclarent avoir trouvé les principes utiles, s'en être servi et être prêts à s'en resservir, mais soulèvent plusieurs difficultés : 60 % des principes offerts n'ont pas été appliqués. Les raisons invoquées sont variées : principe incompréhensible, qui semble inapplicable, non pertinent ou erroné; principe qui semble trop général ou au contraire trop spécifique; principes qui semblent difficiles à concilier, etc. Les auteurs concluent que l'approche est utile, mais qu'il faut fournir aux utilisateurs un cadre d'interprétation qui leur permette de transformer les principes en solutions applicables à leurs cas particuliers.

Il semble clair que l'école des principes directeurs est solidement implantée, et que son utilité est indéniable. Mais la valeur des principes qu'elle énonce sera toujours limitée par les frontières de notre compréhension, frontières qui sont avant tout tributaires des travaux d'ordre plus théorique.

Il faut toutefois noter que l'utilisation de principes directeurs n'implique pas le refus de tester empiriquement les choix effectués.

L'école expérimentale

L'approche expérimentale s'appuie sur la méthodologie scientifique classique, et est axée sur les tests d'hypothèses et la comparaison rigoureuse des conditions testées. Son rôle est triple : dans les laboratoires, elle servira à valider les modèles plus fondamentaux développés par les théoriciens (par exemple, Rohr, 1986). Pendant la phase de design, on mettra à l'essai les possibilités proposées par l'équipe de conception (par exemple, Bewley, Roberts, Schroit et Verplank, 1983). L'expérimentation servira enfin à comparer la performance réelle des systèmes offerts sur le marché (par exemple, Whiteside, Jones, Levy et Wixon, 1985).

Il est important de distinguer l'approche expérimentale plus théorique (destinée à valider les modèles) des recherches qui visent simplement à comparer des possibilités. L'approche théorique est de nature plus fondamentale et s'oriente vers l'élaboration de modèles

généraux de l'interaction individu-ordinateur. Bien qu'elles ne visent pas d'application immédiate, ces recherches sont primordiales à l'avancement du champ, du moins à ce stade de son développement. Comme on le verra plus loin, les modèles théoriques généraux sont une denrée encore rare, et ceux qui sont à les développer devront à notre avis se fonder sur des données empiriques fiables.

Malheureusement, le contexte actuel de la recherche favorise peu ce genre d'étude, particulièrement aux États-Unis, où la recherche est subventionnée en bonne partie par l'entreprise privée et porte sur des problèmes immédiats; seules les très grandes firmes et les organismes gouvernementaux peuvent se permettre des investissements à plus long terme.

Le deuxième type de recherche expérimentale est nettement plus empirique et vise une application plus immédiate: il s'agira de tester des possibilités (commande X ou commande Y, commandes ou icônes, souris ou écran tactosensible, etc.) dans une optique de prise de décision de design. Ces recherches offrent les avantages de la preuve rigoureuse mais demeurent souvent athéoriques (Moran, 1981a). Elles sont néanmoins très utiles à court terme, puisqu'elles répondent à l'urgence de s'éloigner des designs fondés sur la seule intuition. Mais la méthode est coûteuse, compte tenu surtout du peu de généralité des résultats qui ne s'appliquent souvent qu'au contexte très ponctuel dans lequel ils ont été obtenus.

Certains mettent d'ailleurs en doute la puissance de la science expérimentale pour élaborer des systèmes aussi complexes et multidimensionnels que celui de l'interface-usager. Comme le proclame Payne (1985) en paraphrasant la critique célèbre de Newell (1973), «You can't play twenty questions with machine design and win».

Deux types de travaux qui n'ont pas toujours recours à la méthode expérimentale stricte mais s'appuient néammoins sur des données empiriques vérifiables méritent toutefois d'être signalés. Les premiers portent sur la mise au point de bancs d'évaluation standardisés pour l'analyse comparée des performances de systèmes d'opération ou de logiciels d'application. L'objectif est évidemment de faciliter la prise de décision quant à l'adoption de l'un ou l'autre système en produisant des évaluations comparables. On notera en particulier les

travaux de Roberts (1979; Roberts et Moran, 1982) sur l'évaluation d'éditeurs de texte, ainsi que la critique de Borenstein (1985).

D'autres travaux visent à mettre au point des environnements de design d'interface, c'est-à-dire des logiciels qui permettent de simuler plusieurs interfaces virtuelles afin d'en faire ensuite l'évaluation. Le recours à cette procédure offre l'avantage de diminuer considérablement le processus d'ajustement du design, puisque le concepteur n'a pas à programmer en code-source chaque possibilité (voir entre autres les travaux de Henderson (1986) et de Hix et Hartson (1986), de même que l'énoncé de principe de Nakatani et Rohrlich (1983)).

L'école calculatoire

L'école calculatoire est sans doute celle qui s'inspire le plus directement de la psychologie cognitive contemporaine, c'est-à-dire du paradigme du «traitement humain de l'information». Tom Moran, l'un des précurseurs de cette approche, la définit en ces termes :

> "In the calculational approach, psychological theory is cast in the form of explicit information-processing models, which spell out step by step the mental operations that the user must go through to accomplish given tasks. The models must be based on a psychologically well-based theory of the user, so that their applicability and boundary conditions, that is, the situations for which the models are appropriate to use, are clear. In order to apply such a model, a given task situation must be represented as a task (or set of tasks) from the user point of view. What the model provides is a vocabulary and framework for analysing the task into its component psychological processes. If the model is explicit enough, the system designer should be able to do this himself. By doing such an encoding into the model's framework, the designer is tailoring the psychological model to the task involved in his specific design situation. Once encoded, user behavior in this task can be calculated. Further, the designer can by calculation explore the consequences of varying the task structure (e.g. alternative interface designs). If the model produces useful information and is easy enough to use, the designer will actually use it to help him generate and evaluate alternative designs--it will become one of his design tools."
>
> (Moran, 1981a, pp.6-7)

L'approche consiste donc à établir en premier lieu un modèle des opérations mentales nécessaires à l'accomplissement d'une tâche à partir d'une théorie du fonctionnement cognitif et du relevé détaillé des comportements du sujet. On peut ensuite élaborer un modèle de la structure de la tâche du *point de vue du sujet*, modèle qui peut être plus ou moins raffiné.

Après avoir établi par approximation le temps mis pour effectuer chacune des «actions primitives» du modèle psychologique, il devient donc possible de calculer, à l'intérieur d'une fourchette d'erreurs prévisibles, une estimation du temps qui sera mis pour effectuer la tâche ou une variation inédite de celle-ci. L'approche tient donc en partie des méthodes de génie industriel.

Card, Moran et Newell développent cette approche dans un ouvrage majeur (Card *et al.*, 1983) où ils s'attardent en particulier à l'édition de texte. Grâce à leur modèle GOMS, ils parviennent à prédire avec beaucoup d'exactitude les séquences d'actions et les temps d'exécution. Malheureusement, ils y font aussi la preuve des limites peut-être temporaires mais importantes de leur approche : malgré une maîtrise magistrale des théories et des méthodes de leur science, l'élaboration du modèle leur a pris plusieurs années d'effort. L'analyse doit se limiter à de la correction de manuscrit faite par des experts et ne tient aucun compte des erreurs commises.

L'approche calculatoire est donc prometteuse parce qu'elle s'attaque au coeur même du problème, c'est-à-dire à la tâche telle qu'elle se présente au sujet comme résolution de problème ou comme exercice cognitif routinier. Elle s'est toutefois avérée décevante au plan de son application concrète, et peu de chercheurs semblent avoir eu le courage (ou la témérité) de poursuivre des travaux en ce sens.

L'école des «interfaces intelligentes»

La renaissance récente de la popularité des travaux en intelligence artificielle a ouvert la voie à une autre façon de concevoir l'ergonomie des interfaces : il s'agit de faire de celles-ci des assistants coopératifs (au vrai sens de co-opérer) en les dotant d'une certaine forme d'intelligence. Il s'agit d'un juste retour des choses : plusieurs se sont en effet penchés sur le problème de l'interface-usager des systèmes-experts; à l'inverse, on s'interroge maintenant sur l'opportunité d'ajouter une composante experte à l'interface.

Évidemment, la réalisation de systèmes intelligents voués à la communication avec l'usager solutionnerait bien des problèmes : systèmes capables de reconnaître les intentions de l'usager à partir de ses actions et donc de prévenir ses erreurs, capables de diagnostiquer avec précision les erreurs et même, pourquoi pas, de les réparer, systèmes capables de converser en langage naturel, etc. L'interface idéale posséderait une expertise dans :

1) la connaissance de l'usager (niveau d'expertise, caractéristiques personnelles, etc);
2) la connaissance du domaine de la tâche;
3) l'inférence des intentions et des buts de l'usager concernant le problème à résoudre;
4) les règles de l'intervention pédagogique;
5) les règles du dialogue et de la communication.

Une telle interface résoudrait *de facto* la plus grande partie des problèmes connus en ergonomie cognitive. En fait, on peut même se demander, comme le fait Card (1984), si on aura encore besoin d'un usager...

Les «interfaces à base de connaissance» sont encore toutes récentes, et n'ont pas encore de statut précis par rapport aux recherches en ergonomie et en intelligence artificielle : elles n'en connaissent pas moins un développement rapide, comme en font foi les travaux récents dans le domaine de l'interaction orale (Bolt, 1984; Schmandt et Hulteen, 1982), de la conversation (Reichman, 1985), de la gestion de fichier (Jones, 1986) des systèmes d'aide (Quinn et Russell, 1986; Fisher, Lemke et Schwab, 1985), des systèmes tuteurs et consultants (Chin, 1986; Nakatani, Egan, Ruedisueli, Hawley et Lewart, 1986) et des systèmes de reconnaissance des plans (Sullivan et Cohen, 1985; Desmarais, Giroux et Larochelle, 1986), de même que les travaux plus généraux sur le design de telles interfaces (Card, 1984; Mark, 1986; Rissland, 1984).

Il est clair que les travaux utilisant les techniques de l'intelligence artificielle pour le développement d'interfaces intelligentes vont aller s'accroissant; cela dit, sauf pour certains programmes spéciaux dans des domaines restreints, la mise au point de telles interfaces ne pourra se réaliser qu'à condition que soient devenus explicites ces modèles de l'usager, du domaine, de la tâche, etc. dont il a été question plus haut. Le développement d'interfaces ou de systèmes-experts est une chose; le développement de modèles théoriques puissants en est une autre. Il faut être circonspect quand il est question des applications prochaines de l'intelligence artificielle. Comme au cours des années 60, il se peut que ses promesses ne puissent se réaliser (Dreyfus, 1979; Winograd, Davis et Dreyfus, 1985; Winograd et Flores, 1986). Nous reviendrons plus loin sur les travaux en cours dans ce domaine, car il nous apparaît malgré ces réserves comme une issue inévitable aux problèmes de la convivialité de l'interface.

Chapitre 2

Vers un système usager-ordinateur optimal

Comme on l'a vu au chapitre précédent, l'ergonomie cognitive est un champ de recherche naissant mais en plein essor. Elle n'est toutefois pas encore une science unifiée par un ensemble cohérent de théories. En fait, elle constitue un domaine aux frontières encore mal définies et dont on ne peut fixer avec précision l'objectif ultime, puisque nul ne sait ce que serait une interaction optimale. C'est donc une science appliquée qui repousse ses propres limites au fur et à mesure qu'elle se développe et qu'évolue son objet d'étude.

La situation est compréhensible. Il faut voir que l'ergonomie cognitive est née d'une problématique très concrète : développer des systèmes et des logiciels qui soient plus conviviaux («user-friendly», terme sur lequel nous reviendrons) et donc plus performants, dans une optique d'augmentation de la productivité et de développement de marché. À l'heure actuelle, la majorité des intervenants dans le domaine oeuvrent au sein de l'une ou l'autre des grandes entreprises informatiques, et souvent à titre de concepteurs de systèmes à la recherche soit de solutions à leurs problèmes, soit d'idées créatrices susceptibles de mener à une innovation au niveau de l'interface-usager. Le débat est d'ailleurs encore ouvert à savoir si la conception d'interfaces-usager doit être une science de l'usager ou un art du design industriel (Card et Norman, 1986). Bien que tous s'entendent pour souhaiter l'élaboration d'une théorie générale de l'ergonomie cognitive, on trouve encore trop peu de préoccupations pour les fondements théoriques de l'interaction individu-ordinateur.

C'est pourquoi nous nous sommes abstenus jusqu'à présent de donner une définition simple de l'ergonomie cognitive; une telle définition, à notre connaissance, n'existe pas encore. L'ergonomie cognitive s'appelle ainsi parce qu'il s'agit en effet d'une science de l'humain au travail, et que son centre d'intérêt, l'interaction individu-ordinateur, exige que soient pris en considération les facteurs cognitifs. L'ergonomie cognitive est et sera ce dont on

croira avoir besoin pour développer une interaction harmonieuse entre ces deux systèmes de représentation et de traitement de l'information que sont l'humain et l'ordinateur.

Il est cependant possible de préciser ce qu'elle exclut pour l'instant, sans présumer de ce que sera l'avenir.

L'ergonomie cognitive se préoccupe peu des problèmes de l'ergonomie traditionnelle, sinon pour en étudier les conséquences cognitives. Par exemple, le problème de la configuration du clavier ou des effets que le travail sur écran a sur le système oculaire seront abordés surtout pour leurs effets sur la mnémonicité des touches de fonction ou, dans le cas du travail sur écran, pour ses effets sur la concentration et le repérage de l'information.

On peut dire aussi de l'ergonomie cognitive qu'elle est centrée sur l'individu, et non sur ses fonctions sociales et professionnelles qui ne serviront qu'à le définir comme usager; elle se préoccupera donc très peu du contexte organisationnel dans lequel se déroule l'interaction. On verra plus loin (au dernier chapitre) qu'il nous semble très important de tenir compte de cette dimension, particulièrement lorsqu'il sera question de prédire l'usage réel d'un système en milieu de travail. De la même façon, les aspects plus affectifs (technophobie, valorisation du travail) seront traités surtout au plan de leur effet motivationnel.

Qu'en est-il des objectifs de l'ergonomie cognitive? À un niveau très général, il y a entente sur les grands objectifs : faire des systèmes informatiques faciles à apprendre, agréables à utiliser et, surtout, **adaptés aux compétences cognitives** de leurs usagers, bref, des systèmes où l'interaction sera d'une efficacité optimale. Il est cependant beaucoup plus difficile d'opérationnaliser ces objectifs. Dans les sections qui suivent, nous tenterons donc de clarifier certains concepts fondamentaux. Nous examinerons en premier lieu la notion d'interface, ce qui nous amènera à proposer un petit modèle de ce nous appellerons le «système usager-ordinateur». Nous tenterons ensuite de rendre explicites les critères qui servent actuellement à évaluer l'efficacité de ce système.

2.1 La notion d'interface

Lorsqu'il est question de faire intervenir l'ergonomie cognitive dans le design de système, c'est en général pour mettre au point cette composante que l'on désigne comme l'«interface-usager» de l'ordinateur. Mais il existe plusieurs façons de concevoir l'interface, ainsi que le démontrent les quelques définitions suivantes.

«Interface: terme utilisé en ergonomie de la conception des machines, en particulier aujourd'hui la conception des terminaux d'ordinateurs: le clavier, les dispositifs d'entrée, et surtout l'écran et ce qui y apparaît constituent l'interface entre l'homme et la machine».
(De Montmollin, 1986)

«The definition of user interface can be kept simple: it is those parts of the system or machine that the user may come into contact with, physically or perceptually».
(Payne, 1985)

«We shall define an interface as a physical/conceptual structure both channelling and facilitating communication». (Martin, 1973b)

«The interaction between the user and the computer occurs at the computer's "user interface". The designer usually thinks of the user interface as the terminal hardware plus the software that receives, interprets, and sends messages (and displays) to the user. This definition may satisfy the system designer and implementer, but it is inadequate from the user's point of view. Psychologically, the user interface is any part of the system that the user comes in contact with -either physically, perceptually, or conceptually. (...) The whole conceptual organization of the computer system from the user's point of view -the user's conceptual model of the system- is an integral part of the user interface. (...) It follows then that the system's user interface includes not only its behavior at the terminal, but the training and documentation as well».
(Moran, 1981a)

Comme on le voit, le concept d'interface varie passablement d'un auteur à l'autre. De Montmollin en donne la définition la plus classique, mais aussi la moins complète, puisque l'interface est définie presque uniquement du point de vue du support physique. Payne tente de la définir simplement, mais sa définition reste très générale et situe l'interface strictement au niveau du système informatique. Martin souligne avec justesse l'aspect communicationnel de l'interface, mais il s'agit d'une définition qui la réduit à cette seule dimension. Moran donne

une définition plus satisfaisante, bien que peu orthodoxe pour l'informaticien, et qui caractérise bien l'approche de l'ergonomie cognitive. L'interface, c'est évidemment le clavier, la souris, l'écran, etc., mais c'est aussi le contenu de l'écran, la structure des menus, les messages d'erreur, la syntaxe et la sémantique des commandes, etc. Plus encore, c'est le modèle mental que l'usager se fait du système, modèle qui, on le verra, est rarement complet (Gentner et Gentner, 1983; Gentner et Stevens, 1983; Halasz et Moran, 1983; Young, 1981). L'interface inclut aussi la structure des tâches à accomplir, du point de vue de la résolution de problèmes, c'est-à-dire les stratégies plus ou moins optimales auxquelles peut avoir recours l'usager en fonction de sa compétence et de ses buts. On peut donc parler d'une **interface «objective»**, celle que conçoit le concepteur et qui est liée au système lui-même, et d'une **interface «subjective»**, celle qu'engendre l'usager, et qui est donc surtout tributaire du fonctionnement psychologique de ce dernier et du contexte dans lequel il interagit avec l'ordinateur.

Il est certain qu'une telle définition élargit considérablement la notion d'interface, au point que certains suggèrent des distinctions similaires à celle que nous venons d'avancer (Edmonds, 1982; Payne, 1985). Doit-on ou non inclure ces considérations psychologiques dans ce qu'on appelle l'interface-usager? La question reste ouverte, mais il est certain que cette dimension, qu'elle soit considérée comme composante ou résultante de l'interface, constitue un aspect essentiel de la convivialité des systèmes et des logiciels. C'est donc cette définition qui sera adoptée ici.

Cela dit, il nous semble dangereux de limiter le champ de l'ergonomie cognitive à l'étude de la seule interface, même dans sa définition la plus large, car c'est peut-être mal poser le problème. L'amélioration de l'interface est un facteur déterminant, certes, mais ce qu'il s'agit d'optimiser, c'est la performance de tout **le système usager-ordinateur**, qui comprend l'interface mais ne s'y limite pas. L'interface est la partie plus ou moins visible d'une interaction qui met aux prises un usager utilisant un système informatique pour effectuer une

tâche ou un ensemble de tâches. Il s'agit donc d'une interaction complexe et multidéterminée, dont il faudra mieux comprendre les acteurs et leurs liens mutuels.

2.2 Le système usager-ordinateur

Pour bien situer les travaux en ergonomie cognitive, il nous est apparu utile d'illustrer sous forme schématique les composantes qui entrent en jeu lors de l'interaction usager-ordinateur. La figure 2 décrit les trois éléments du système : le système informatique, la tâche et l'usager. Chacun de ces éléments est lui-même décomposable sous plusieurs dimensions, que nous définirons brièvement ici pour les aborder plus en profondeur dans les chapitres suivants.

Figure 2

Le système informatique

Le système informatique peut être envisagé comme comportant trois champs concentriques, dont chacun se construit à partir des précédents : le matériel de base, le matériel d'interface et le logiciel d'interface. Au coeur du système se trouve **le matériel de base**, qui est la partie du matériel avec laquelle l'usager n'entre pas en contact direct, mais qui détermine en la limitant la performance des autres champs. Il s'agit donc des caractéristiques physiques du système (mémoire vive et morte, capacité du ou des processeurs, capacité du BUS, etc.) et de sa capacité de traitement (nombre d'opérations à la seconde, vitesse des accès disque, etc.).

Le **matériel d'interface** est celui avec lequel l'usager interagit pour commander au système et recevoir ses réponses. Il s'agit donc du matériel d'entrée (clavier, souris, stylus, écran tactosensible, micro dans le cas de compréhension de la parole, etc.) et de sortie

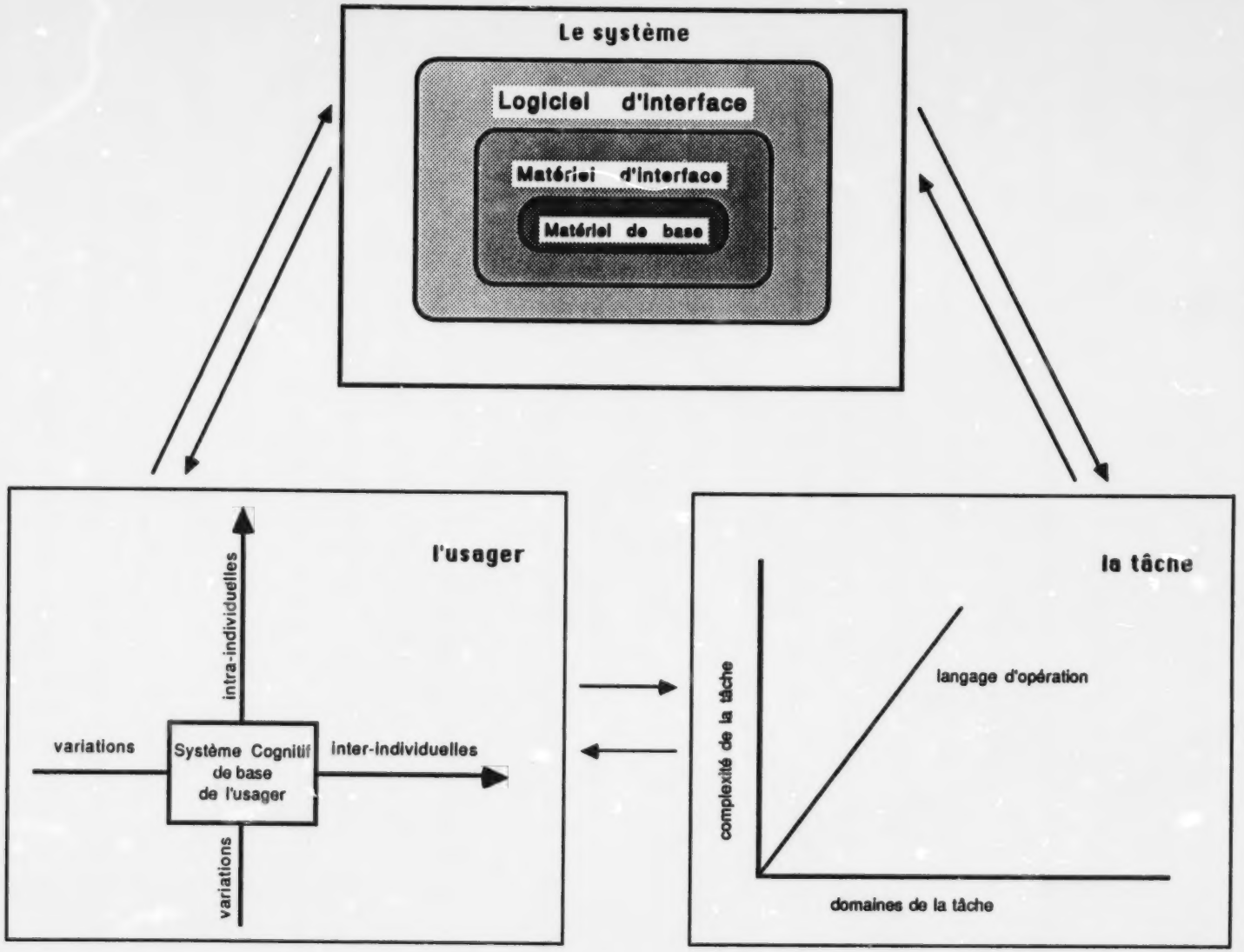

Figure 2- Modèle du système usager-ordinateur

(résolution, grandeur et coloration de l'écran, sonorisation, imprimante, etc.), mais il faut aussi inclure les éléments périphériques comme les disquettes, les lecteurs de disquettes, les scanneurs de texte, etc.

Le **logiciel d'interface** est sans doute la composante la plus visible et la plus aisément manipulable du système informatique. C'est sur elle qu'agit en général le concepteur, et elle constitue de ce fait le champ d'étude le plus développé en ergonomie cognitive. Le logiciel d'interface, c'est le système d'exploitation tel qu'il se présente à l'usager, pouvant être plus ou moins complexe et plus ou moins puissant, pouvant ou non gérer simultanément plusieurs usagers ou plusieurs tâches. C'est aussi le mode d'interaction de l'usager avec les opérateurs et les objets de travail : au niveau du mode d'entrée des commandes, on parlera d'interface à commande, à menus, à manipulation directe, d'interface multimédias, d'interface en langage naturel, en langage de requête par exemple («query-by-example»), etc. Au niveau de l'affichage et de la manipulation de l'environnement de travail, on parlera d'affichage par ligne, par écran ou par objet, de surface d'affichage unique ou multiple, etc.

La tâche

La tâche est souvent sous-estimée lorsqu'il s'agit d'évaluer l'importance relative des composantes du système. Par exemple, on tient souvent pour acquis que l'usager maîtrise le domaine de la tâche et que les difficultés se limitent à l'interaction avec le logiciel. La tâche est pourtant la raison d'être de l'interaction, et ses caractéristiques imposent des contraintes très fortes sur le style d'interaction à privilégier. Nous distinguerons trois sources de variations : variations du domaine de la tâche, de la complexité de la tâche et du mode d'opération dans l'espace de la tâche.

Au niveau du **domaine de la tâche**, il est clair que les caractéristiques de l'interaction devront varier selon qu'il s'agit de traitement de texte ou de traitement graphique, de messagerie ou de récupération d'information dans une banque de données, ou selon qu'il est question d'un logiciel axé vers une utilisation précise (le traitement de texte par exemple) ou d'un environnement intégré (comme Lotus 1-2-3 par exemple).

La **complexité de la tâche** peut varier avec le domaine, mais elle change aussi à l'intérieur d'un même domaine. On connaît les problèmes d'échelle dans le domaine des banques de données, où l'étendue de la banque devient un facteur essentiel pour déterminer le meilleur mode de récupération. De la même façon, la nature de la requête peut exiger une simple commande ou l'exécution d'une suite de fonctions complexes. Dans le domaine du traitement de texte, le problème ne sera pas du même ordre selon qu'il s'agit d'insérer un mot ou de faire des modifications conditionnelles portant sur la manipulation du format d'un texte de plusieurs dizaines de pages. On verra qu'une tâche complexe exige des activités de planification qui peuvent ou non être favorisées par le logiciel d'interface du système et par le langage d'opération du logiciel de la tâche.

Le **mode ou langage d'opération dans l'espace de la tâche** fait référence à la sémantique et à la syntaxe des opérations que l'usager doit manipuler pour effectuer la tâche. Partant d'un état du problème X pour arriver à l'état voulu Y, l'usager dispose d'un ensemble de commandes ou d'opérateurs lui permettant d'avancer dans l'espace de la tâche. Il est important à cet égard de distinguer le logiciel général d'exploitation de la machine du logiciel lié à la tâche elle-même.

De la même façon, il faudra distinguer le mode d'interaction (commandes ou menus, etc.) de la sémantique de l'interaction, qui est propre à la tâche et souvent au logiciel utilisé. Par exemple, on trouve pour le Macintosh plusieurs bases de données qui fonctionnent en respectant l'environnement général de cet appareil, mais qui ont recours à des langages d'opération assez différents pour stocker et récupérer l'information. Ces logiciels sont conçus pour une même machine et une même interface-usager, mais il est possible de démontrer que leurs langages d'opération modifient nettement la tâche de l'usager (Ingenito, en préparation).

L'usager

L'usager est évidemment un facteur clé dont on reconnaît l'importance, mais qu'il est difficile de cerner. Comme nous l'avons souligné plus tôt, l'usager contemporain est

devenu insaisissable parce que trop variable. On peut distinguer deux grandes classes de variations : les variations inter-individuelles et intra-individuelles.

Les **variations inter-individuelles** sont liées aux caractéristiques personnelles qui distinguent les usagers entre eux, qu'elles soient d'ordre physique ou psychologique : handicap physique, habileté manuelle et intellectuelle, motivations, style cognitif, etc. Par opposition, les **variations intra-individuelles** sont celles qui se produisent chez un même usager avec le temps ou la pratique : apprentissage, acquisition d'habiletés routinières, interférence proactive et rétroactive, stress et fatigue, etc.

Bien que ces variations soient souvent confondues lorsqu'on compare deux usagers, il est important de les distinguer. Par exemple, on oppose fréquemment usagers experts et novices comme s'il s'agissait d'une typologie simple à effectuer et à manipuler. D'une part, cette variable de l'«expertise» n'est pas unidimensionnelle et n'est sûrement pas dichotomique. D'autre part, la question doit se poser à savoir si ces deux niveaux extrêmes sont seulement le fruit de la pratique (variation intra-individuelle) ou si on peut y voir aussi la résultante de variations inter-individuelles comme la motivation et le style cognitif.

Historiquement, on a longtemps cru concevoir les systèmes pour un usager typique ne variant sous aucune de ces deux dimensions. Par la suite, on s'est préoccupé surtout de l'une ou de l'autre, mais sans voir leur présence simultanée. Les préoccupations actuelles vont vers une interaction qui tiendrait compte à la fois des caractéristiques individuelles de l'usager et de son état actuel par rapport au système informatique et au domaine de la tâche.

L'usager, la tâche et le système en interaction

La représentation schématique de l'interaction telle qu'illustrée à la figure 2 montre les trois composantes qui viennent d'être brièvement décrites. Mais usager, tâche et système informatique sont en interaction, ce qui n'est pas très bien illustré par la présence de flèches orientées dans cette figure. Il faut voir que cette interaction ajoute énormément à la complexité, puisqu'elle prend ici deux sens :

1) l'interaction «en temps réel», c'est-à-dire les échanges qui ont lieu entres les partenaires. À ce niveau, on concevra par exemple l'interaction comme un dialogue où l'usager et le système sont les interlocuteurs qui échangent sur un mode que l'on espère coopératif à propos d'un contenu (la tâche) en s'établissant un langage commun;

2) l'interaction au sens plus méthodologique, c'est-à-dire le jeu réciproque des dimensions les unes avec les autres. Par exemple, on peut se demander s'il vaut mieux une interface «à commandes» ou «à menus», mais la réponse n'est pas à trouver dans le seul système informatique. Ce choix à faire au niveau de la première composante devra être modulé en fonction de l'expertise de l'usager (deuxième composante) et de la tâche (traitement de texte ou messagerie, troisième composante).

On pourrait multiplier les exemples d'interrelations entre système, tâche et usager. La puissance et les logiciels du système déterminent les tâches qui peuvent être informatisées. En retour, les systèmes sont désormais souvent conçus pour répondre aux exigences des tâches qu'on compte effectuer. Le développement des machines spécialisées pour le langage LISP et destinées aux travaux en intelligence artificielle en est un exemple.

Au fur et à mesure que s'élargit le bassin des usagers, de nouvelles tâches sont informatisées, tâches qui contribuent elles-mêmes à accroître la variété des usagers potentiels. Quant aux liens entre systèmes et usagers, il est clair que les systèmes sont de plus en plus conçus en fonction d'une clientèle cible et que l'évolution des systèmes est tributaire de leur acceptation par les usagers.

Dans les chapitres qui suivent, nous reprendrons tour à tour chacune des composantes du modèle pour tracer un portrait de l'état actuel des travaux de recherche. Mais il convient auparavant d'examiner l'état de la question en ce qui a trait au but ultime de la science ergonomique : l'interaction optimale entre l'usager et l'ordinateur.

2.3 Les critères d'une interaction optimale

Avec l'expansion du marché de la micro-informatique au milieu des affaires et au contexte domestique, le concept de convivialité («user-friendliness») est devenu un important argument publicitaire. L'usage commun définit comme un système convivial celui «qui aide une personne à effectuer une tâche d'une façon naturelle, qui est facile à comprendre et à utiliser» (Stevens, 1983). Il s'agit déjà d'une acception moins restrictive que celle qui consiste à confondre convivialité et «affabilité». Ainsi, à l'Université de Montréal par exemple, l'éditeur mis à la disposition du personnel enseignant et des étudiants est incroyablement désuet, mais le système d'opération, en réponse au code d'identification de l'usager, lui répond «Bonjour!» en le nommant par son prénom, et lui laisse le «Bonsoir!» lorsqu'il se détache du réseau. Il s'agit là d'une vision bien primaire de ce qu'est la convivialité... Il est vrai que l'établissement d'une relation plus personnalisée avec l'usager peut être utile, particulièrement pour des logiciels destinés au grand public comme les banques de données Videotex ou certains logiciels d'assistance médicale où les questions posées peuvent paraître indiscrètes (Lucas, Card, Knill-Jones, Watkinson et Crean,1976, dans Stevens, 1983), mais la convivialité ne saurait être restreinte au respect de ces seuls aspects mineurs du code de politesse de la conversation humaine.

Burch (1984) propose, quant à lui, le concept de «transparence» comme objectif ultime de convivialité. Un système devient transparent quand sa conception est si bien ajustée à la façon dont l'usager pense, parle, mémorise, perçoit, traite l'information et résout les problèmes que le système lui-même devient «invisible» puisqu'il ne requiert aucun effort d'attention de la part de l'usager. Tout le problème, évidemment, est d'opérationnaliser ce concept de système idéal et de déterminer avec précision quelles sont les caractéristiques du système qui permettraient cette interaction optimale.

En fait, il n'est peut-être pas possible (ni même souhaitable) de définir la convivialité d'un système par ses caractéristiques intrinsèques, qu'elles soient d'ordre matériel ou logiciel.

Ce qui importe, ce sont les conséquences de ces caractéristiques sur l'efficacité du système individu-ordinateur, qui peut-être mesurée par différents critères de performance. En dernière analyse, ce sont ces paramètres qu'il convient d'optimiser, puisque ce sont eux qui témoignent concrètement de la convivialité. Nous touchons cependant ici à l'un des problèmes les plus difficiles de l'ergonomie cognitive, qui est la recherche d'une définition claire et opérationnelle de l'objectif poursuivi, c'est-à-dire la définition de ce que serait une interaction optimale. Malheureusement, l'état actuel de la recherche ne permet pas de fournir de réponse, comme en témoigne d'ailleurs l'important rapport du comité chargé par le «National Research Council» américain d'évaluer les besoins de recherche dans le domaine des facteurs humains. L'une des principales conclusions de ce comité se lit en ces termes :

> «The primary research recommendations in the areas of users, tasks,hardware, software, and documentation include a major emphasis on developing new methodologies to evaluate what is meant by ease of use in human-computer interaction. Does ease of use mean the extent to which it is easy to learn to use a computer; does it imply good design of hardware and software for a variety of naive, casual and professional users; does it mean that any task can be done quickly and without errors; does it encompass a component of judged satisfaction about use; or does it mean all of these?»
>
> *«Research Needs for Human Factors», Rapport du «Committee on human factors», National Research Council of the United States, Washington, 1983, p. 114.*

Bien sûr, tous les chercheurs ont leur propre conception de cette facilité d'usage, qui se traduit explicitement par leur choix des variables dépendantes à l'étude. Mais il s'agit en général d'une définition «locale», qui touche un aspect restreint de la performance sans tenter d'obtenir une mesure plus synthétique de la performance globale du système humain-ordinateur. Dans l'état actuel des connaissances, on ne peut qu'énumérer les critères qui servent le plus fréquemment de mesure de la qualité de cette interaction. Nous en présenterons dix qui, comme on le verra, ne sont pas tous très différents de ceux de l'ergonomie plus traditionnelle. Ils sont toutefois mieux adaptés à la multifonctionnalité et au caractère plus interactif et plus cognitif de l'interface-usager. Certains sont tirés de Moran (1981a), mais nous en avons retenu plusieurs autres.

La vitesse d'exécution

C'est là évidemment l'un des premiers critères de productivité. Un système convivial doit permettre à l'usager d'effectuer rapidement les tâches entreprises. On doit cependant être prudent. Il s'agit de la vitesse d'exécution de la tâche, et non de la vitesse de réponse du système. Le système optimal n'est pas nécessairement celui qui répond instantanément à l'usager. Par exemple, dans les grands systèmes à temps partagé, les concepteurs se sont souvent donné comme objectif de toujours minimiser le temps de réponse du système; lorsque le système était peu encombré, l'attente était presque nulle alors qu'elle variait beaucoup aux heures de grande fréquentation. On s'est vite aperçu qu'en certaines circonstances, il était préférable d'atteindre une vitesse de réponse plus lente mais constante, de sorte que l'usager puisse mettre à profit cette période d'attente prévisible pour effectuer d'autres opérations mentales et/ou physiques. Cette conclusion n'est cependant pas généralisable à toutes les situations et à tous les usagers, et ce seul problème de l'influence du temps et de la variabilité du temps de réponse sur la performance semble fort complexe (voir la discussion de Nickerson, 1986).

De la même façon, les spécifications techniques telles les MOPS (millions d'opérations par seconde) ont un impact certain sur la puissance et la rapidité d'exécution des commandes, mais peuvent n'avoir que peu de rapport avec la vitesse d'édition d'un texte et la récupération d'information dans une banque de données. Dans des domaines comme la bureautique, où l'ordinateur est avant tout un instrument (ou un partenaire) de travail, c'est de la structure d'exécution de la tâche (stratégies algorithmiques ou heuristiques permises et effectivement utilisées) et de sa maîtrise par l'usager que dépendra la vitesse d'exécution. Par exemple, nous sommes à analyser des logiciels de bases de données relationnelles vendus commercialement pour le Macintosh, et il semble clair que des logiciels possédant en apparence une même interface imposent à l'usager des procédures d'exécution qui sont assez différentes et qui ont des effets sur la vitesse de récupération des informations désirées (Ingenito et Giroux, en préparation). On trouvera dans Roberts et Moran (Roberts, 1979; Roberts et

Moran, 1982, 1983) une évaluation de la vitesse d'exécution de différents logiciels d'édition de texte.

Le taux d'erreurs

On ne dira jamais assez l'importance des erreurs dans le système individu-ordinateur. Sauf lorsqu'elles ont des conséquences fâcheuses, comme la destruction irrémédiable de fichiers ou l'impression de faux calculs, on a tendance à considérer les erreurs comme partie intégrante d'une interaction normale. Cela n'est pas faux, mais le vieil adage suivant lequel «l'erreur est humaine» ne doit pas être appliqué trop vite à l'utilisation des machines informatiques. Bien sûr, certaines erreurs peuvent être attribuables à la perception ou à la motricité de l'utilisateur (erreur de touche, mauvaise lecture de l'écran, etc.). Même en ce cas, il ne s'agit pas toujours d'une erreur indépendante du système, bien au contraire. Comme nous l'avons souligné plus tôt, l'opérateur qui lit mal un message d'erreur ou un menu peut commettre cette erreur parce que l'information qui lui est présentée est inattendue compte tenu de son modèle de la tâche. Considérer les «erreurs de perception» comme telles, c'est supposer implicitement que la perception est un processus entièrement dirigé par données, alors qu'on sait en psychologie cognitive qu'il est aussi (et surtout) dirigé par concepts, c'est-à-dire conforme aux attentes du sujet (Lindsay et Norman, 1977; Minsky, 1975; Rumelhart, 1975; Schank, 1972; Schank et Abelson, 1977).

De la même façon, les erreurs de touches peuvent être attribuables à l'inattention de l'usager ou à la configuration du clavier (on connaît à cet égard la pauvreté ergonomique du clavier QWERTY et de son équivalent français, le clavier AZERTY), mais elles résultent souvent d'une mauvaise correspondance touche-action (particulièrement dans le cas des touches de fonction; voir John, Rosenbloom et Newell, 1985) ou de la non-standardisation des

claviers (quiconque s'est servi de plusieurs ordinateurs au cours des dernières années comprendra cette remarque).

Mais ces problèmes «de surface» dont nous venons de faire état comptent pour une portion relativement faible de la variance de productivité due aux erreurs. Les sources d'erreurs sont multiples et complexes, et c'est sans doute pourquoi on trouve étonnamment peu de travaux sur les erreurs commises dans l'utilisation des logiciels. Même Card *et al* .(1983), dans leur étude approfondie de l'édition de texte, fondent la plupart de leurs analyses sur les essais qui ont été exécutés sans erreur. Pourtant, et de leur aveu même, les erreurs comptent pour 26 % du temps de travail, et il s'agit dans leur cas de sujets experts qui connaissent très bien l'éditeur testé. Ils soulignent d'ailleurs que les erreurs ne sont pas toutes de même nature, et qu'on doit distinguer erreurs de routine et erreurs exigeant une activité de résolution de problème :

> «Although these big errors were method failures, they were classified separately because their times (43,52 and 121 sec) were an order of magnitude larger than simple (4 sec) method-failure errors. The important characteristic of these errors is that their correction involved real problem-solving activity, mostly having to do with the user finding her place in a large text file. These results suggest two radically different sorts of errors that system designers should consider: The first are small, routine errors that can be corrected quickly in a skilled manner. The second are big, infrequent but enormously time-consuming errors that require problem solving to correct».
> (Card *et al.*, 1983, p.179)

Rappelons qu'il s'agit ici d'une simple tâche de correction d'un manuscrit par une personne compétente. Il est donc probable que les erreurs comptent pour une part encore plus importante lorsque l'usager est moins compétent ou que la tâche est plus complexe. La distinction apportée par Card *et al.* n'en est toutefois que plus pertinente : l'erreur prend une importance démesurée lorsque l'usager ne connaît pas de méthode simple pour la réparer. Cette conclusion nous amène à notre troisième critère : la correction des erreurs.

La correction des erreurs

S'il faut tenter de réduire à un minimum le nombre d'erreurs, il serait illusoire d'espérer qu'aucune erreur ne sera jamais commise. Le système doit évidemment prévenir les pires dommages en tentant de les éviter (verrouillage des logiciels-source et des applications, protection en cas de panne, etc.) et en fournissant des méthodes de «récupération» pour les erreurs les plus courantes (commandes du type «undo»). Mais ce ne sont pas là les erreurs les plus graves, celles qui confondent et démotivent l'usager. Par exemple, l'utilisation de banques de données à structure arborescente pour mettre en marché le protocole de videotex Télidon s'est avérée un demi-échec, entre autres parce qu'en cas d'erreur, l'usager non familier avec la banque ne parvenait pas à «situer sa position» dans l'arborescence, ce qui entraînait des tâtonnements souvent pénibles. De la même façon, les usagers novices de systèmes de traitement de texte ont tendance à avoir recours à l'analogie de la machine à écrire, et commettent de ce fait des erreurs parfois coûteuses (mauvaise indendation des paragraphes, perte de fichier de travail, etc.).

Ces erreurs qui mettent l'usager en situation de résolution de problème sont celles auxquelles il faut s'attaquer, et les travaux actuels sur les systèmes d'aide vont en ce sens (Caroll et Kay, 1985; Chin, 1986; Fisher *et al.*, 1985; McKendree et Caroll, 1986; Nakatani *et al.*, 1986). Le problème est double : d'une part, l'erreur doit être reconnue et diagnostiquée (ce qu'est en général incapable de faire l'usager) et, d'autre part, le système doit offrir les solutions possibles. Or les sources d'erreurs sont variées et souvent assez imprévisibles si on ne possède pas une théorie du modèle mental de l'usager, et donc une connaissance de l'utilisation du système en situation réelle. C'est pourquoi on se tourne vers l'analyse processuelle des tâches et les systèmes d'aide à base de connaissances («knowledge-based interface)

La vitesse et la facilité d'apprentissage

La facilité d'apprentissage offre des avantages évidents en contexte de travail et sert aussi d'argument de vente des systèmes dits conviviaux. Trois remarques s'imposent toutefois.

En premier lieu, l'importance de ce facteur varie énormément suivant le contexte d'utilisation. Le professionnel de l'informatique tolérera une période d'apprentissage assez longue, alors que le personnel de bureau voudra une formation accélérée et que l'utilisateur moyen accédant à une banque d'informations dans le hall d'un hôtel ne voudra y consacrer que quelques minutes.

En second lieu, et comme nous le verrons plus loin, la facilité d'apprentissage est presque toujours sujette à un compromis avec la puissance du logiciel.

En troisième lieu, il faut être très prudent lorsqu'il est question d'apprentissage : plusieurs études ont montré que même des usagers ayant acquis une formation systématique ne maîtrisent qu'une partie seulement des fonctions du système qu'ils utilisent (Eason, 1984; Folley et Williges, 1982; Nickerson, 1981; Rosson, 1983). Le modèle mental que les usagers développent au sujet du fonctionnement de l'appareil est souvent inadéquat (Bourdeau, 1986; Halasz et Moran, 1983; Young, 1981) et, pour des raisons d'économie de mémoire, préféreront appliquer à plusieurs reprises des commandes simples plutôt que d'apprendre une commande plus puissante mais plus complexe et moins fréquemment utilisée.

Enfin, les systèmes comme le Macintosh, qui semblent pouvoir être appris par pure exploration (Robert, 1986a), dissimulent un piège que nous avons pu à plusieurs reprises constater de visu dans notre laboratoire. Il est vrai que les usagers apprennent assez rapidement à utiliser cet appareil pour les tâches simples, mais ils ne prennent plus la peine de consulter les manuels et commettent par la suite des erreurs coûteuses parce que certaines notions conceptuelles n'ont pas été maîtrisées. Il y a dans ce cas une banalisation trop grande par rapport à la complexité technique réelle de l'appareil. L'apprentissage d'un système informatique n'est pas en général une question de tout ou rien, et il faut s'assurer que l'usager

connaît toutes les possibilités qui peuvent lui être utiles (voir le critère du taux d'exploitation dans une section ultérieure).

La rétention des apprentissages

L'apprentissage des logiciels est souvent fait de façon intensive, particulièrement lorsqu'il se déroule en milieu de travail et dans le cadre de séances de formation du personnel. L'apprentissage est alors mesuré peu de temps sinon immédiatement après la formation; on mesure en ce cas l'apprentissage à court terme, et non la facilité de rétention à plus long terme du matériel appris. Cette façon de faire, qui est aussi très courante lorsque l'on compare expérimentalement les qualités de différents logiciels, ne cause pas trop de problèmes lorsqu'il s'agit de logiciels dont l'usager est appelé à se servir quotidiennement, puisqu'en ce cas la question de la rétention ne se posera pas. Il en va autrement pour les logiciels d'application moins fréquente, où il est essentiel que l'usager n'ait pas à se refamiliariser avec le langage de commande à chaque nouvelle utilisation. On se rappellera à cet égard la fameuse critique du système d'exploitation UNIX faite par Norman (1981; voir aussi la réplique de DeLeon, Harris et Evens, 1983).

Il faut donc doter l'interface de caractéristiques qui en favorisent la rétention ou qui permettent à tout le moins de recouvrer facilement les acquisitions antérieures. Dans le cas des noms de commandes, par exemple, on aura recours à un vocabulaire cohérent et naturel; on prendra soin aussi d'assurer une similarité maximale entre le nom de la commande et l'action correspondante (Barnard, Hammond, MacLean et Morton, 1982; Black et Moran, 1982; Rosenberg, 1982, 1983; Scapin, 1982; voir aussi Bewley *et al.*, 1983, et Hemenway, 1982, dans le cas des icônes)

La transférabilité des apprentissages

L'évolution foudroyante du matériel et des logiciels rend les systèmes rapidement désuets, et le personnel doit se plier à un recyclage plus ou moins permanent. Il serait donc souhaitable que les interfaces évoluent vers une forme de standardisation permettant une adaptation rapide aux changements. La configuration des automobiles modernes est un bon exemple de système ayant atteint une certaine maturité et où les apprentissages sont hautement transférables. Malheureusement, le monde de l'informatique n'en est pas encore là, ce qui est d'ailleurs une bonne chose puisque la standardisation constitue souvent un frein important à l'évolution technologique (voir le cas du clavier QWERTY dans le chapitre suivant). On voit par contre le succès de la famille des IBM-PC, qui a réussi à imposer sa norme même si les interfaces créées pour cette gamme d'appareils sont en général en deçà des perfectionnements récents.

Faute donc de pouvoir assurer une formation à tout un éventail de logiciels en apparence disparates, plusieurs se sont penchés sur les méthodes et les formes d'apprentissage susceptibles de favoriser ces transferts de connaissance d'un système à l'autre et de minimiser les problèmes d'interférence proactive (la connaissance de **A** nuit à l'apprentissage ultérieur de **B**) et rétroactive (en retour, l'apprentissage de **B** vient appauvrir la performance sur **A**). On songe par exemple aux travaux sur l'apprentissage conceptuel du traitement de texte (Bourdeau, 1986; Douglas et Moran, 1983) et de la programmation (Mayer, 1975, 1976) qui visent à enseigner un modèle général de ces activités, modèle indépendant du logiciel ou du langage utilisé.

Il faut aussi parler d'un autre type de transférabilité des apprentissages, se situant celui-là à l'intérieur d'un même système informatique : c'est la cohérence des diverses composantes de son interface. La notion de cohérence est encore mal définie (Robert, 1986b), et elle se comprend mieux par son contraire : un système est incohérent «if the user exposed to certain aspects of its behavior is led to form expectations about other aspects, which the machine itself then violates» (Young, 1981).

La cohérence peut prendre de multiples formes : cohérence de la position spatiale des menus (Teitelbaum et Granda, 1983), de la syntaxe des commandes (Barnard, Hammond, Morton et Long, 1981), de leur sémantique, etc. La cohérence offre des avantages évidents : apprentissage plus rapide, rétention plus facile, diminution des erreurs, etc. C'est sans doute pour favoriser cette cohérence que des firmes comme Apple imposent des contraintes aux concepteurs de logiciels du Macintosh quant à l'utilisation des menus et des fenêtres.

La fonctionnalité du système

Notion introduite par Moran (1981a), la fonctionnalité du système individu-ordinateur est sa capacité d'effectuer un large éventail de tâches. La tendance actuelle à implanter des systèmes intégrés et des réseaux locaux témoigne de cette préoccupation. Bien sûr, il ne s'agit pas là d'un critère strictement ergonomique, mais une évaluation de l'interface qui ne tiendrait pas compte de la puissance réelle du système pour assister l'usager dans ses fonctions demeurerait incomplète. D'autres critères externes, comme le coût d'acquisition et d'opération ainsi que la qualité des extrants ("outputs") doivent aussi jouer dans l'évaluation des interfaces lorsqu'il s'agit d'effectuer concrètement un choix parmi plusieurs possibilités.

La flexibilité du système

Ramsey et Grimes (1983) parlent de flexibilité pour désigner un système qui possède les qualités suivantes : 1) pouvant s'appliquer à un large éventail de tâches, 2) permettant à l'usager plusieurs méthodes pour effectuer une tâche, 3) permettant à l'usager plusieurs façons d'invoquer ses commandes, 4) s'adaptant à différentes classes d'usagers, et en particulier à des usagers d'expertise variable, et 5) permettant à l'usager de personnaliser son interaction avec le système en fonction de ses préférences. Eason (1980) évoque aussi la flexibilité en insistant particulièrement sur la nécessité de conserver aux tâches leur structure ouverte plutôt que de les rendre fermées, c'est-à-dire hautement contraintes par le système et imposées à l'usager, qui doit alors se soumettre entièrement à la structure prédéfinie.

La flexibilité consiste donc surtout à permettre à l'usager de contrôler son mode d'interaction avec le système et sa façon d'effectuer la tâche. Il s'agit évidemment d'un objectif a priori souhaitable, mais qui n'est pas un critère encore bien opérationnalisé et qui peut véhiculer ses propres problèmes : offrir plusieurs possibilités à l'usager, c'est en même temps lui imposer d'effectuer des choix qu'il n'est pas toujours en mesure de faire ni surtout d'évaluer. La flexibilité peut donc devenir synonyme de complexité pour l'usager, du moins en apparence. C'est pourquoi Ramsey et Grimes relatent plusieurs études visant à transférer l'initiative du dialogue du système à l'usager au fur et à mesure des progrès de ce dernier, de sorte que l'usager novice se voit offrir au départ un environnement et une interaction très structurés, pour prendre ensuite de plus en plus de contrôle sur le mode d'interaction souhaité.

L'acceptabilité du système

L'acceptabilité d'un système fait référence aux réticences que peuvent avoir ses usagers potentiels à l'utiliser, de même qu'aux attitudes développées face à son usage. Au sens large, l'acceptabilité dépend d'une foule de facteurs qui ne relèvent pas tous de l'ergonomie cognitive. Contexte d'implantation et d'utilisation, climat organisationnel et niveau de motivation des employés sont autant de variables qui peuvent déterminer si le système sera bien reçu et, parfois même, s'il sera implanté. Cela dit, l'acceptabilité «cognitive» n'est pas négligeable et résulte en grande partie des autres facteurs qui ont fait l'objet de cette section (vitesse, taux et récupération des erreurs, etc.). Nickerson (1981) donne plusieurs exemples de plaintes fréquemment formulées par les usagers concernant le temps de réponse, la fonctionnalité, la documentation, le langage de commande, la cohérence, etc.

L'acceptabilité résulte de ces facteurs, mais elle n'en est pas la somme exacte. Malone, entre autres, s'est penché sur l'aspect motivationnel des interfaces (Malone, 1980, 1981a, 1981b, 1982) et a relevé plusieurs principes peu étudiés mais qui devraient faire l'objet de recherches plus approfondies : fournir des buts clairement définis, un feed-back intelligent sur la performance, etc.. Il suggère de plus que l'on dote l'interface de niveaux de complexité

multiples et surtout que l'on tente d'atteindre «un niveau optimal de complexité informationnelle». Cette dernière recommandation est peut-être la plus fondamentale. On sait en effet qu'une tâche trop routinière fait baisser le niveau de motivation, et qu'une tâche qui surcharge le système cognitif entraîne stress et fatigue. Pour un système qui fait l'objet d'une utilisation quotidienne, il est donc crucial que l'interface maintienne à un niveau satisfaisant la motivation de ses usagers.

Le «taux d'exploitation» («usability»)

Comme l'acceptabilité et la flexibilité, le «taux d'exploitation» n'est pas une mesure de convivialité unidimensionnelle, mais émerge de l'interaction de plusieurs autres facteurs. Tel que redéfini par Eason (1984) le «taux d'exploitation» est **la distance qui sépare l'utilité potentielle d'un système de l'usage réel qui en est fait**. Le concept tel qu'énoncé est assez neuf, peu étudié, et fascinant : il est facile d'observer combien la plupart des systèmes informatiques sont sous-exploités, et nous ne parlons pas ici d'une exploitation en temps de CPU. Dans les cas où les usagers doivent utiliser l'appareil dans le cadre de leurs fonctions, on observera une sous-utilisation d'une grande partie de la diversité des applications et des commandes offertes. Lorsque la personne a une certaine liberté dans sa fréquentation du système, on constatera des réactions de rejet qui vont jusqu'à la non-utilisation totale, en passant par l'utilisation déléguée (on confie à une autre personne le soin d'effectuer la tâche; voir Nickerson, 1981).

Nous avons noté précédemment plusieurs études montrant que les usagers mêmes experts ne se donnent souvent pas la peine d'apprendre et/ou d'utiliser certaines commandes. Eason (1984), par exemple, étudie le cas d'un système de gestion bancaire où les caissiers disposent de 36 façons d'obtenir de l'information sur le compte d'un client. Chacune de ces commandes codées a pour fonction d'examiner les transaction du client sous un certain angle (solde du compte, dernières transactions, dernier retrait, dernier dépôt, etc). Eason soumet au personnel une série de requêtes faisant appel à chacun des codes, et constate que quatre codes

sont utilisés pour 75 % des recherches! Fréquemment, les sujets réussissent à trouver l'information correcte, mais utilisent des stratégies en apparence non optimales (recours à une série de commandes simples, tri dans une liste plus complexe que ce qui est demandé, etc). Partant de ces résultats, Eason élabore un modèle causal du «taux d'exploitation», qui repose sur l'interaction des variables liées à l'usager, à la tâche et au système. La figure 3 illustre le modèle ainsi construit.

FIGURE 3

Pour Eason, le «taux d'exploitation» des systèmes doit être situé dans son contexte réel, c'est-à-dire en fonction d'une table de contingence de la forme «un système doit avoir les caractéristiques X pour les usagers de type Y en fonction des tâches Z à effectuer». Il s'agit donc de prédire la performance de l'interaction non pas selon des critères ergonomiques absolus, mais selon les fonctions qu'elle doit remplir pour l'usager potentiel. Selon ce modèle, l'usager fait une évaluation de sa propre interaction en fonction du rapport coût/bénéfice tel qu'il le perçoit, et c'est le résultat de cette évaluation qui sera déterminant. Eason poursuit en montrant comment les variables qui jouent sur le «taux d'exploitation» sont souvent exclues ou contrôlées dans les travaux ergonomiques et que, de ce fait, les expériences en laboratoire prédisent mal l'exploitation réelle des systèmes testés.

La position de Eason est intéressante parce qu'elle fait montre d'un réalisme qu'on ne retrouve pas toujours dans le milieu de la recherche (même appliquée!). Elle pose cependant de graves interrogations à qui veut construire une science de l'interaction individu-ordinateur et soulève deux problématiques reliées : la valeur des critères ergonomiques et la question des compromis entre ces critères.

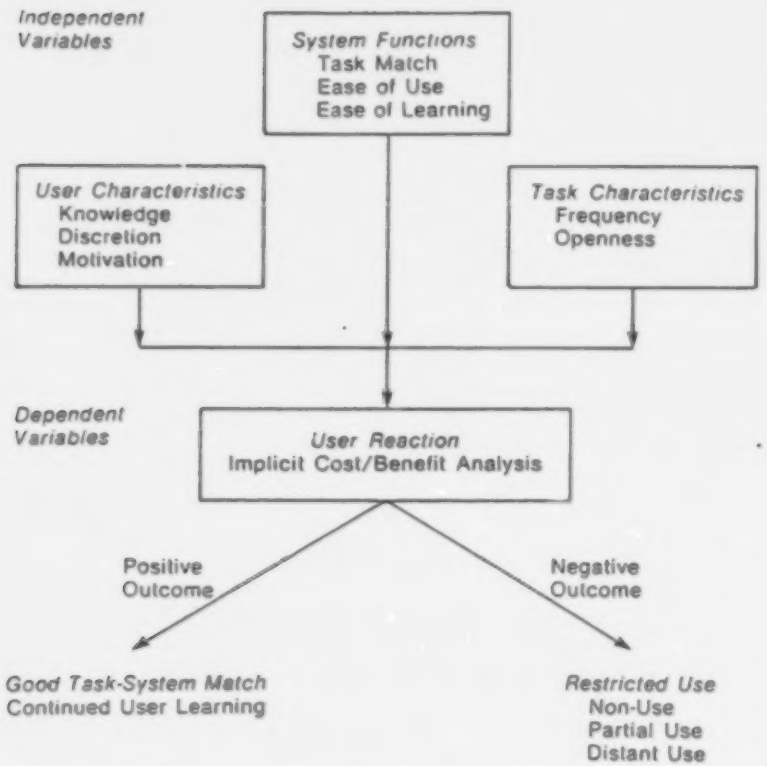

Figure 3- Modèle du "taux d'exploitation" (usability) de Eason (1984)

Pondération et interaction des critères

Afin de montrer plus clairement les objectifs de l'ergonomie cognitive, nous avons énoncé dix critères de performance qui peuvent témoigner d'une interaction efficace. Cette liste n'est probablement pas complète et sûrement pas définitive. Elle n'est surtout pas suffisante pour guider le concepteur de système aux prises avec le problème de prédire comment son produit sera reçu par les usagers. Ces critères sont en effet énoncés un peu dans l'absolu, comme s'ils étaient d'importance égale et indépendants les uns des autres. Cela n'est malheureusement pas le cas, et c'est ce qui fait tout le problème du passage entre les principes et la pratique.

En premier lieu, l'**importance relative de ces critères varie énormément en fonction du contexte d'utilisation**. Vitesse d'exécution et taux d'erreurs sont toujours des facteurs importants, parce qu'ils sont omniprésents dans l'interaction. Cela dit, la tolérance des usagers à un système lent ou complexe variera suivant l'importance de la tâche que le système leur permet d'accomplir. La facilité d'apprentissage comptera peu pour une application perçue comme très rentable ou destinée à être utilisée fréquemment, mais sera déterminante si l'usager est peu motivé ou si l'utilisation prévue est ponctuelle. La rétention des apprentissages sera un facteur plus ou moins négligeable pour l'usager qui n'utilise qu'un système, mais cruciale s'il est appelé à en apprendre plusieurs; il en va de même pour la transférabilité. Quant à la fonctionnalité, un système puissant sera bien reçu pour quelqu'un dont les tâches sont diversifiées, mais probablement trop complexe et trop encombrant pour celui qui ne fait que de l'entrée de données. Le critère d'acceptabilité devra lui aussi être pondéré en fonction du niveau de motivation et de la personnalité des usagers. Enfin, le taux d'exploitation perdra en importance si le système ne peut jouer qu'un rôle secondaire dans la tâche quotidienne de l'usager ou si le rapport coût/puissance du système est faible.

Ce ne sont là que quelques exemples, vite esquissés, du jeu de la pondération auquel doit se prêter celui qui veut prédire l'efficacité de l'interaction telle qu'elle sera perçue par l'utilisateur.

Mais il y a plus : **ces critères ne sont pas non plus indépendants, et ils sont souvent même antagonistes**. Comme le signale à plusieurs reprises Norman (1983; Norman et Draper, 1986), «There are no simple answers, only trade-offs». Vitesse et taux d'erreurs sont souvent inversement reliés. Les caractéristiques qui rendent un système facile à apprendre deviennent souvent des inconvénients pour l'usager plus expérimenté. Un système de commandes original facilitera la rétention, mais diminuera la transférabilité. Un système intégré multifonctionnel sera d'une grande fonctionnalité, mais il sera plus complexe et plus difficilement cohérent. On pourrait multiplier à l'infini les exemples de **compromis nécessaires**, et pas seulement au niveau de ces critères généraux : presque chacun des cho de design, et ce jusque dans les moindres détails, résulte d'un ou de plusieurs compromis.

Alors? Alors, il faut faire avec ce dont on dispose, et c'est pourquoi les praticiens conscients des problèmes de l'interface (ils sont encore trop peu nombreux) sont désespérément à la recherche de principes à suivre, de théories à appliquer. D'ailleurs, et comme le dit Norman en se faisant rassurant :

> «It might be useful to point out that although there may not be any best solution to a problem in which the need of different parts conflict, there is a worst solution. And even if no design is "best" along all dimensions, some designs are clearly better than others--along all dimensions. It clearly is possible to design a bad system. Equally, it is possible to avoid bad design».
>
> (Norman, 1983; voir Norman et Draper, 1986, p.56)

Chapitre 3

Le système

Il est opportun de commencer notre analyse du modèle général des interactions humain-ordinateur en nous penchant sur les systèmes informatiques, puisque ce sont eux qui délimitent les possibilités d'interaction offertes à l'usager. Du point de vue de l'ergonomie cognitive, les possibilités d'interaction les plus intéressantes sont celles définies par le logiciel utilisé. Il est clair que le mode d'interaction idéal ainsi que les habiletés cognitives exigées seront différents selon qu'il s'agit d'un logiciel destiné à faciliter la conception graphique ou d'un logiciel d'aide à la prise de décision. Il sera question de cet aspect des logiciels dans le cinquième chapitre, consacré à la tâche. Il existe toutefois un autre aspect du logiciel qui, sans être totalement indépendant des tâches, affecte plus directement la nature des interactions. Il s'agit du logiciel d'interface en son sens plus général. Ainsi, que ce soit pour corriger un texte ou pour rechercher de l'information dans une banque de données, les interactions peuvent par exemple se faire à l'aide de symboles verbaux ou spatiaux. Dans le cas de symboles verbaux, ceux-ci peuvent être semblables à ceux utilisés dans la langue naturelle, mais ils peuvent être aussi très artificiels, s'inscrivant dans un langage de commande ayant une syntaxe propre. Ces différentes façons d'interagir avec le système soulèvent sur le plan cognitif plusieurs problèmes qui seront décrits dans la dernière section de ce chapitre.

Si nous préférons traiter en dernier lieu des problèmes liés au logiciel d'interface , c'est que la nature du logiciel d'interface utilisé est souvent elle-même tributaire de la structure physique ou matérielle de la machine. Sur le plan physique, il faut distinguer les composantes périphériques de la machine qui sont consacrées aux interactions avec l'usager de la structure interne de la machine (voir la figure 2, chapitre deuxième). Le matériel d'interface a un impact direct sur la nature des interactions avec l'usager. Par exemple, les terminaux sans écran

utilisés il y a quelques années (du type «téléscripteur») ne permettaient pas d'interaction basée sur la manipulation de symboles iconiques (généralement appelés «objets»). Par contre, de telles interactions sont possibles avec un système doté d'un écran graphique pour la représentation des objets et d'une souris ou d'un crayon lumineux pour leur manipulation. La deuxième section de ce chapitre sera consacrée au matériel d'interface. Nous y passserons brièvement en revue les connaissances et les problèmes cognitifs relatifs à différents types d'instruments périphériques destinés à l'entrée («input») d'information par l'usager et à la présentation d'information («output») par le système.

Toutefois, avant d'aborder cette étude, il est utile de dire quelques mots sur la structure interne des systèmes informatiques, parce que c'est de la puissance computationnelle des systèmes que dépend ultimement la nature et l'évolution des interfaces, autant sur le plan matériel que logiciel. Ainsi, les écrans graphiques requièrent beaucoup plus de puissance de traitement que celle qui était disponible aux premiers temps de l'informatique.

3.1 La structure interne des ordinateurs

Les composantes

Les composantes de l'ordinateur ont beaucoup changé depuis la mise au point des premières machines au début des années 40. Ainsi, alors que les ordinateurs de la première génération étaient faits à base de lampes, les ordinateurs de deuxième, troisième et quatrième génération ont été respectivement basés sur la technologie des transistors, des circuits intégrés et des circuits VLSI («Very Large Scale Integration»). Malgré cette progression technologique, on peut dire que l'élément de base des ordinateurs est resté inchangé. De façon abstraite et un peu simplifiée, on peut décrire cet élément comme un relais qui peut prendre deux états différents. Ce que l'évolution de la technologie électronique a changé, c'est l'efficacité de ces composantes. D'abord, les ordinateurs d'aujourd'hui sont évidemment plus économes en ce

qui concerne la dissipation d'énergie par chaque relais. En ce qui concerne la puissance computationnelle, les transformations les plus importantes sont, d'une part, la vitesse avec laquelle un relais peut changer d'état et, d'autre part, la vitesse de communication entre les différents relais qui composent la machine.

Les premiers ordinateurs étaient surtout limités par la vitesse de changement d'états qui, dans un ordinateur à lampe, était plus long de plusieurs ordres de grandeur que dans les ordinateurs actuels. Aujourd'hui, la vitesse de commutation d'un relais se situe entre le centième et le dixième de nanoseconde. Quoique cette vitesse soit déjà assez impressionnante, il semble que la vitesse limite ne soit pas encore atteinte. Selon Nickerson (1986), les ordinateurs de l'avenir pourraient être composés de deux types d'éléments nouveaux, actuellement à l'étude. Le premier, appelé *jonction de Josephson*, est fait de deux superconducteurs séparés par une mince feuille de matériel isolant. En l'absence de voltage, le courant passe d'un superconducteur à l'autre alors que le courant cesse de passer quand un voltage est appliqué. La jonction de Josephson peut donc être conçue comme un relais à deux états, au même titre que le transistor. Toutefois, l'avantage que présente la jonction de Josephson est qu'elle peut changer d'état en dix pico-secondes, soit 1/100 du temps requis par un transistor. La jonction de Josephson est aussi plus petite que le transistor. Le désavantage est qu'elle requiert une température de 4,2° Kelvin (la température de l'hélium liquide) pour fonctionner, ce qui pose évidemment des problèmes.

Le second changement possible envisagé par Nickerson réside dans ce qui est généralement appelé le *transistor optique*. Celui-ci est composé d'un cristal situé entre deux miroirs sur lesquels sont projetés deux faisceaux de lumière cohérente. La projection du second faisceau permet le passage de parties du premier faisceau, allant de sa totalité à presque rien. Le transistor optique peut donc prendre plus de deux états, en plus d'être environ mille fois plus rapide qu'un transistor ordinaire. Par ailleurs, il peut aussi être utilisé avec plusieurs faisceaux en parallèle.

À mesure que la vitesse de commutation des relais s'est améliorée, c'est la vitesse de communication entre les relais qui est devenue le facteur critique. Les progrès à ce niveau ont été effectués en grande partie grâce à la miniaturisation des composantes, qui a permis de situer les éléments plus près les uns des autres et ainsi de réduire la distance de transmission. Ces progrès n'auraient pu être faits sans l'invention du transistor, en 1948, qui valu plus tard un prix Nobel à Bardeen, Brattain et Shockley. Le circuit intégré fut introduit en 1959 par Texas Instrument et Fairchild Semiconductor. Au cours de la décennie qui suivit, le nombre de transistors situés sur une puce a doublé chaque année. Nickerson note qu'à ce rythme, il aurait suffit de 300 ans pour que le nombre d'éléments sur une puce soit égal au nombre d'atomes dans l'univers, soit environ 10^{79}. Ce taux de croissance ne pouvait donc pas se maintenir indéfiniment. Effectivement, depuis 1973, le nombre de transistors par puce ne s'est accru que d'un facteur de quatre tous les trois ans, et ce taux continue à baisser. Les ingénieurs et les physiciens s'attendent donc à ce que le nombre de transistors sur une puce atteigne une limite physique insurmontable, mais la nature exacte de cette barrière n'est pas encore connue. On peut toutefois se consoler de cette perspective pessimiste en pensant que, déjà en 1977, une puce d'un quart de pouce carré contenait un microprocesseur plus complexe que celui des premiers ordinateurs. Enfin, la vitesse de transmission des signaux en tant que telle est aujourd'hui de 15 centimètres par nano seconde. Si l'on en croit la physique contemporaine, nous ne sommes pas loin de la limite absolue de 30 centimètres par nano seconde qui correspond à la vitesse de la lumière. Les progrès futurs ne se feront donc probablement pas à ce niveau.

L'architecture

Plusieurs croient que les progrès futurs ne concerneront pas tant les composantes physiques de la machine que l'organisation de ces composantes. Ainsi, on peut dire, de façon simplifiée encore une fois, que la quasi-totalité des ordinateurs conçus à ce jour possèdent la même architecture. Ils sont composés d'une mémoire pour stocker l'information et d'une unité

de traitement qui effectue les opérations sur l'information d'une façon séquentielle. Cette architecture est designée sous le nom de *Von Neumann*, son concepteur.

Le processeur. Il est certain que la vitesse de traitement serait accrue si plusieurs opérations pouvaient être effectuées en parallèle plutôt que séquentiellement. Selon plusieurs, c'est cette propriété qui distinguera les ordinateurs de la cinquième génération. Il existe déjà des machines qui possèdent plusieurs processeurs opérant en parallèle. Toutefois, nous ne savons pas encore très bien comment exploiter ces machines. Alors que la théorie computationnelle maintenant classique s'appliquait bien aux machines Von Neumann, elle s'avère très limitée face aux problèmes qui se posent quand plusieurs unités de traitement sont simultanément actives.

Des recherches théoriques sur les propriétés des architectures parallèles sont actuellement en cours. Certaines de ces recherches sont inspirées de la neuropsychologie (Hinton et Anderson, 1981; McClelland, Rumelhart et le PDP Research Group, 1986; Rumelhart, McClelland et le PDP Research Group, 1986) et il est aisé de comprendre pourquoi. Chacun des éléments de base du cerveau humain, c'est-à-dire chaque neurone, opère à une vitesse maximale qui se situe entre une et dix millisecondes, ce qui est très lent par rapport au transistor. La vitesse qui caractérise la cognition humaine ne peut donc venir que d'un parallélisme massif dans les opérations effectuées par différents neurones.

La mémoire. La puissance computationnelle du cerveau tient aussi au nombre d'éléments impliqués. Le cerveau humain comprend environ 100 milliards (10^{11}) de neurones et chacun de ces neurones entre en contact avec plus de 100 autres neurones en moyenne, ce qui donne environ 10^{13} connexions synaptiques. À titre de comparaison, Licklider estimait à 10^{15} bits la quantité d'information contenue dans toutes les bibliothèques du monde à cette époque. La capacité de la plus grande mémoire à accès direct (RAM) était alors de 10^{7} bits, mais des progrès ont été accomplis depuis. Toutefois, la densité maximale des unités de mémoire vive est soumise aux limites physiques de densité déjà mentionnées. En ce qui concerne la mémoire morte, le meilleur support actuel est le disque optique. La densité

maximale de l'information sur ce support, qui est définie par la longueur d'onde de la lumière utilisée, est déjà presque atteinte. Mais il est aisé d'utiliser des systèmes comportant plusieurs disques. Un tel système, produit par la compagnie Teknekron Controls, a une capacité de 2,2 X 10^{13} bits (voir Nickerson, 1986).

Si nous avons insisté dans le paragraphe précédent sur les capacités de stockage du cerveau humain et des ordinateurs, c'est parce que les recherches en psychologie cognitive et en intelligence artificielle démontrent que l'intelligence ne dépend pas seulement d'une bonne capacité de traitement mais qu'elle s'appuie aussi sur une masse énorme de connaissances. Il faut donc avoir la capacité de stocker toute cette information qui est très gourmande du point de vue de l'espace mémoire, surtout lorsqu'elle est présentée sous forme de signaux analogues complexes tels la parole humaine.

Nous avons vu dans cette section portant sur l'organisation interne des ordinateurs qu'il existe des limites à ce que nous pouvons espérer atteindre sur le plan physique. Toutefois, cette section a aussi voulu démontrer que la puissance computationnelle qui est déjà à notre disposition a littéralement atteint des proportions astronomiques (il y a environ 10^{13} étoiles dans la voie lactée). Il est donc évident que les limites de nos systèmes actuels ne se situent pas au niveau physique mais qu'elles sont dues à notre ignorance en matière d'organisation et de traitement de l'information.

3.2 L'interface physique

Compte tenu de l'évolution qui s'est produite au cours des dernières décennies, il n'est pas faux de penser qu'un jour, les machines communiqueront davantage entre elles qu'avec nous. Il est d'ailleurs intéressant de noter que le terme «interface» désignait à l'origine la communication entre différentes composantes, logicielles et matérielles, des machines. Toutefois, aujourd'hui, les ordinateurs nous seraient d'une bien moindre utilité s'ils ne

pouvaient pas communiquer avec nous, et le terme d'interface fait donc surtout référence aux problèmes de communication entre humain et ordinateur.

Dans cette section, nous allons brièvement passer en revue les principaux types d'appareils disponibles pour l'échange d'information entre l'humain et l'ordinateur. Nous allons adopter la division classique entre les mécanismes d'entrée, opérés par l'humain et destinés à communiquer l'information à l'ordinateur, et les mécanismes de sortie, qui renvoient l'information à l'humain.

Les mécanismes destinés à l'entrée d'information

Le clavier. Le clavier est sans contredit le plus ancien, le plus utilisé et le mieux connu des appareils destinés à l'entrée d'information. Le fait que le clavier «standard» soit si répandu nous fait généralement oublier qu'il en existe une multitude d'autres. Les différents types de clavier peuvent être regroupés en deux grandes catégories : les claviers à touches multiples requièrent que plusieurs clefs soient pressées simultanément pour produire un symbole, ce qui les distingue des claviers à touches simples où chaque clef correspond à un symbole. Il est connu que le temps requis pour presser plusieurs clefs simultanément augmente avec le nombre de clefs nécéssaires. C'est donc dire que le clavier à touches multiples peut devenir plus efficace que le clavier à touches simples seulement si les symboles transmis contiennent plus d'information que les symboles transmis par les claviers à touches simples.

C'est le cas, par exemple, des machines de sténographie légale où chaque symbole peut correspondre à un mot ou même à une expression entière qui nécessiterait plusieurs frappes successives sur un clavier à touches simples où les symboles transmis sont les caractères alphanumériques et diacritiques classiques. Puisque la sténographie est une écriture spéciale, les symboles transmis par la machine doivent ultimement être transcodés en écriture alphabétique. Or l'intelligence requise pour interpréter les symboles transmis et les transcoder n'est pas négligeable. L'automatisation du processus de transcodage est rendue d'autant plus

difficile que la signification de plusieurs symboles sténographiques peut varier d'une personne à l'autre.

Tel n'est pas le cas d'un clavier à touches multiples qui retient actuellement beaucoup d'attention aux Pays-Bas, le «Vélotype». Les symboles transmis par ce clavier correspondent aux syllables de la langue néerlandaise. Puisque les règles d'orthographe de la langue néerlandaise sont basées sur une correspondance régulière entre les sons et les séquences de lettres, le transcodage peut être effectué automatiquement par un microprocesseur intégré au Vélotype. Le fonctionnement de cette machine est beaucoup plus facile à apprendre et à effectuer que celui des machines dotées d'un clavier alphanumérique standard. Malheureusement, les machines qui fonctionnent à partir de syllables sont difficilement adaptables aux langues où les règles d'orthographe ne reflètent pas toujours la structure phonologique de la langue, comme c'est le cas pour le français et surtout l'anglais.

Les claviers à touches simples se distinguent entre eux par les symboles qui y sont représentés et par la façon dont ces symboles y sont distribués. Certains claviers servant des fonctions spécifiques, tels les claviers numériques, possèdent moins de touches (symboles), que les claviers alphanumériques dont sont dotées les machines à dactylographier. D'autres claviers, utilisés dans les communications avec les ordinateurs, possèdent des touches de fonction en plus des touches correspondant aux caractères alphanumériques.

En général, la distribution des symboles alphanumériques et diacritiques sur les claviers utilisés dans le domaine de l'informatique est semblable à celle qui se retrouve sur les claviers des machines dactylographiques. Cette distribution devenue standard est celle dont était dotée le clavier de la première machine dactylographique produite commercialement par la compagnie Remington (au début du siècle). Une hypothèse veut que Sholes, l'inventeur de cette première machine dactylographique, ait conçu la distribution des touches de façon à minimiser la probabilité que les barres des machines mécaniques d'alors ne se coïncent. Si cette hypothèse est juste, l'arrangement encore utilisé aujourd'hui n'a plus sa raison d'être depuis l'avènement des machines électriques et électroniques. Déjà, dans les années 20,

Dvorak avait proposé un arrangement beaucoup plus ergonomique basé sur des considérations d'économie et de rapidité de mouvements. Les connaissances et les modèles de l'activité dactylographique (Kinkead, 1975; Rumelhart et Norman, 1982) qui ont été développés par la suite montrent que le clavier Dvorak est supérieur au clavier Sholes, communément appelé QWERTY, et à ses variantes comme le clavier français AZERTY. Et pourtant, le clavier QWERTY est non seulement resté un standard, mais il est peut-être même devenu le prototype des standards (immuables). L'histoire du clavier, merveilleusement relatée par Yamada (1980) et reprise par Cooper (1982), serait de peu d'intérêt si elle ne constituait une illustration exemplaire des résistances économiques au changement, même en présence de résultats ergonomiques clairs favorisant le changement.

Les recherches ergonomiques peuvent avoir un impact plus considérable en ce qui concerne la disposition des touches de fonctions sur le clavier puisqu'il n'existe pas encore d'habitudes ancrées dans ce domaine. Par exemple, Good (1985) a étudié quelles fonctions étaient les plus utilisées dans le traitement de texte avant de déterminer lesquelles seraient représentées sur le clavier d'un nouveau terminal. La disposition de ces touches a été établie de façon que leur proximité reflète la dépendance séquentielle des fonctions correspondantes.

On peut se demander s'il vaut la peine aujourd'hui de se pencher sur les problèmes ergonomiques relatifs au clavier. De nombreuses recherches ont déjà été effectuées sur les aspects physiques du clavier, tels l'espacement et la pression requise par les touches, de sorte que nous possédons de bonnes recommandations à ce sujet (cf. Alden, Daniels et Kanarck, 1972; Seibel, 1972). Par ailleurs, certains pensent que le clavier ne sera pas encore longtemps utilisé pour l'entrée d'information, croyant qu'il sera bientôt remplacé par la parole. La parole humaine semble en effet être le seul moyen permettant de transmettre l'information verbale dans toute sa complexité de façon plus efficace que le clavier. Le problème que pose la parole comme méthode d'entrée d'information ne se situe pas sur le plan physique de l'enregistrement du son et de la voix humaine. Il se situe au niveau phonologique et linguistique. Comme nous le verrons dans la section consacrée à l'interface cognitive, la

reconnaissance des mots et la compréhension du message posent encore des problèmes majeurs à la machine, de sorte que les claviers ne disparaîtront pas de sitôt.

Les mécanismes de positionnement et de déplacement. Si le clavier peut être utilisé de façon assez efficace pour transmettre de l'information verbale, il présente des limites majeures en ce qui concerne l'entrée d'information spatiale. Des touches spéciales sont souvent prévues sur les postes dotés d'un écran pour permettre de déplacer et de positionner le curseur sur l'écran. Toutefois, l'utilisation de ces touches s'avère généralement moins efficace que l'emploi d'instruments spécialement destinés à ces fonctions.

L'un de ces instruments est communément appelé «crayon lumineux». Ces expressions sont très trompeuses parce que le stylus de ces appareils n'émettent pas de lumière mais captent la lumière émise par le faisceau qui balaie l'écran. Par ailleurs, ces appareils ne mesurent pas directement la position du stylus mais ils déduisent cette position en se basant sur le temps que le faisceau passe sous le stylus. Il est donc évident que le pouvoir de résolution de tels appareils est limité par le pouvoir de résolution de l'écran. Par ailleurs, une manipulation trop rapide du stylus peut provoquer un déplacement discontinu du curseur sur l'écran, ce qui s'avère non productif quand il s'agit de tracer une ligne continue dans une application graphique.

Les problèmes mentionnés précédemment sont beaucoup moins prononcés lorqu'un stylus électrostatique est utilisé en conjonction avec une tablette digitale qui en enregistre les positions. La tablette est souvent placée à côté du poste de travail de sorte que son utilisation ne nuit pas à la visibilité de l'écran. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il semble que les sujets s'adaptent facilement au fait de manipuler le stylus sur une surface et d'en voir les résultats sur une autre. Cette technologie est bien adaptée aux applications graphiques, et elle constitue probablement la meilleure méthode pour l'enregistrement de l'écriture manuelle. Comme c'était le cas pour la parole, les problèmes que pose l'écriture manuelle comme mode de communication avec l'ordinateur ne se situent pas tant au niveau physique qu'au niveau de la reconnaissance des formes. Ces problèmes sont particulièrement

complexes dans les cas de l'écriture cursive. Pour ce qui est de l'écriture en lettres moulées, il suffit de peu d'expérience en dactylographie pour que l'utilisation d'un clavier devienne plus rapide (Devoe, 1967).

Une méthode différente des précédentes consiste à faire rouler une boule dont les mouvements sont enregistrés et traduits en mouvements du curseur sur l'écran. La boule peut être située dans un cadre stationnaire (c'est le cas d'un appareil appelé «trackball» en anglais) ou elle peut être intégrée à un support mobile (c'est le cas de la souris). Ces appareils ont été conçus principalement pour des applications graphiques. Puisqu'ils ne ressemblent pas à un stylus, ils nécessitent peut-être une période de familiarisation un peu plus longue. Toutefois, des recherches montrent que leur utilisation devient vite plus efficace que celle de certains stylus (Card, Moran et Newell, 1983).

Comme le mentionne Nickerson, le succès commercial de la souris est tel qu'il n'est pas surprenant de voir apparaître un chat («cat») sur le marché. Cet appareil traduit les mouvements d'un doigt sur une surface tactosensible en mouvements du curseur sur l'écran. En fait, des tablettes «sensibles» au toucher existent depuis longtemps. Elles ne permettent évidemment pas la même précision que les appareils décrits précédemment, mais presque tout le monde peut faire bouger ses doigts.

Dans le cas de personnes handicapées qui ne peuvent bouger leurs membres, il est possible d'enregistrer le mouvement des yeux. Il est aussi possible d'enregistrer des mesures physiologiques, bien que de telles mesures soient souvent difficiles à interpréter. Plusieurs des technologies existantes peuvent aussi être adaptées aux besoins des personnes handicapées. Si les travaux dans ce domaine ne sont pas aussi avancés qu'on pourrait le souhaiter, les problèmes des personnes handicapées en ce qui concerne leurs interactions avec l'ordinateur ne sont pas ignorés (p. ex. Buxton, 1986).

Les mécanismes destinés à la sortie d'information

Les imprimantes. Jusqu'à récemment, la principale méthode pour distribuer et conserver l'information était l'impression. Même si l'imprimante à papier est un des instruments périphériques les plus anciens dans le domaine de l'informatique, elle est encore très utilisée aujourd'hui. Évidemment, les imprimantes d'aujourd'hui viennent sous de plus nombreuses formes et peuvent accomplir plus de fonctions que celles d'autrefois. Les premières imprimantes étaient des imprimantes à marteaux et ne pouvaient donc produire qu'un nombre limité de caractères. Par opposition, il est possible de composer et de produire un nombre presque illimité de caractères avec les imprimantes à points qui accompagnent aujourd'hui plusieurs marques de micro-ordinateurs personnels. Toutefois, la qualité d'impression des imprimantes à points n'atteint pas celle des bonnes imprimantes à marteaux, ni celle des imprimantes au laser. Les imprimantes à points permettent aussi des applications graphiques mais, encore une fois, le résultat est de qualité moindre que celle obtenue avec une imprimante à laser ou avec un traceur de courbe.

Les avantages d'une copie imprimée sur d'autres modes de présentation de l'information sont nombreux. Le premier avantage est qu'une bonne copie imprimée est plus facile à lire qu'une copie présentée sur un écran cathodique. Ainsi, les sujets de Wright et Lickorish (1983) ont procédé plus rapidement et ont détecté une plus grande proportion des erreurs qui avaient été insérées dans un texte quand celui-ci leur était présenté sur papier que sur écran cathodique. Les autres avantages d'une copie imprimée concernent la portabilité et l'accessibilité à l'information. Il est possible de lire une document dans l'autobus ou, inversement, d'en étendre toutes les feuilles sur le plancher du salon. En comparaison, les écrans cathodiques sont généralement très limités en ce qui concerne la quantité d'information présentée simultanément, et ils sont encore un peu encombrants à porter. Le grand désavantage de l'imprimé dans les interactions humain-ordinateur est son aspect essentiellement statique.

Les écrans. La majorité des micro-ordinateurs vendus aujourd'hui sont pourvus d'un écran cathodique semblable sous plusieurs aspects à un écran de télévision. La

présentation de l'information se fait à l'aide d'un faisceau d'électrons qui balaie l'écran et qui en illumine les pixels. La durée d'illumination des pixels dépend de leur composition chimique (phospore ou autre), mais elle est généralement plus courte que le temps requis pour balayer tout l'écran. À un taux de balayage aussi faible que celui des télévisions, l'illumination et l'extinction successives des pixels provoqueraient un scintillement («flicker») inacceptable de l'image. Pour éviter ce scintillement, le balayage se fait généralement en deux temps. En un premier temps, seules les rangées impaires sont balayées alors qu'au moment suivant les rangées paires le sont. La grande suprématie des écrans cathodiques sur l'imprimé en ce qui concerne les interactions humain-ordinateur réside dans le fait que l'information présentée sur l'écran peut théoriquement être changée à chaque balayage.

En ce qui a trait au pouvoir de résolution de l'écran cathodique, il dépend essentiellement du nombre de pixels. Alors qu'antérieurement, les écrans cathodiques connectés aux ordinateurs servaient surtout à présenter de l'information verbale, l'avènement des écrans adressables («bit-map») a ouvert la voie aux applications graphiques. Malheureusement, les écrans graphiques à haute résolution et en couleur sont encore relativement onéreux.

En plus des écrans cathodiques, il existe plusieurs autres types d'écrans qui peuvent être connectés à un ordinateur. Tout le monde connaît les écrans à cristaux liquides et à diodes lumineuses dont sont dotées certaines montres-bracelets. Il existe aussi des écrans à plasma et des écrans à projection. On trouve même des écrans tactiles pour les personnes souffrant de déficit visuel. Il serait très long de faire un relevé des recherches concernant les différents paramètres physiques des écrans. On se référera à cet effet aux travaux de Galitz (1981) et de Shurtleff (1980).

Toutefois, il vaut peut-être la peine de mentionner un problème souvent soulevé par ceux qui font un usage intensif des écrans cathodiques dans leur travail quotidien. Ces personnes rapportent souvent un stress ou une fatigue excessive à la fin de la journée. Une étude de l'Institut national de la santé des États-Unis montre que ces problèmes ne peuvent être

dus au taux de radiation émis par l'écran. Par ailleurs, la plupart des travaux qui relient l'écran à de tels symptômes ont été critiqués sur une base méthodologique (Sauter, Gottlieb, Jones, Dodson et Rohrer, 1983). Ce n'est pas que de tels symptômes n'existent pas mais plutôt qu'ils peuvent tout aussi bien être attribuables à l'environnement de l'écran ou même à l'inconfort de la posture de travail. La fatigue visuelle fait exception en ce qu'elle peut effectivement être associée à un usage prolongé de l'écran cathodique.

Le son. Jusqu'à présent, notre exposé des mécanismes de sortie a été axé surtout sur la modalité visuelle. Toutefois, l'ordinateur peut aussi communiquer par le son. Puisque les messages sonores ont une durée essentiellement éphémère, l'utilisation de la voie auditive n'est pas toujours appropriée. Selon Deatherage (1972), la modalité visuelle est mieux adaptée à des messages longs et complexes qui doivent être conservés pour usage ultérieur ou qui ont trait à l'espace. La modalité visuelle est aussi préférable lorsque l'environnement sonore de l'usager est bruyant ou lorsque son système auditif est déjà beaucoup sollicité. La modalité auditive est préférable dans la situation inverse, c'est-à-dire lorsque la modalité visuelle est surchargée et que les messages demandent une attention et une action immédiate de la part de l'usager.

Qui dit «son» pense souvent à la parole. La synthèse de la parole par ordinateur est possible dans une certaine mesure. Comme c'était le cas pour la perception automatique de la parole, les limites relatives à la production automatique de la parole ne se situent pas sur le plan de la technologie physique mais plutôt au niveau de nos connaissances. Nous reviendrons donc sur le problème de la parole dans la section portant sur le logiciel d'interface.

Les environnements

Ramsey et Atwood (1979) ont fait un relevé des recherches portant sur les facteurs sensoriels et moteurs liés aux paramètres physiques de chacun des différents types d'appareils d'interface que nous avons décrits précédemment. Les études portant sur l'utilisation simultanée de plusieurs appareils sont encore très rares. Et pourtant, nous utilisons toujours

conjointement au moins un appareil d'entrée (habituellement un clavier) et un appareil de sortie (habituellement un écran cathodique). Plusieurs postes de travail couramment utilisés sont dotés d'un second appareil d'entrée, une souris, et d'un second appareil de sortie, une imprimante. Mais, comme on peut le constater à la lecture des sections précédentes, cela n'épuise pas encore l'ensemble des possibilités. Certains travaux en cours ont pour but d'explorer la possibilité de transformer l'environnement entier en poste de travail (ou l'inverse). À titre d'exemple, nous décrirons brièvement la chambre-média («Media Room») construite par le «MIT Architecture Machine Group» (voir Bolt, 1984).

Il s'agit d'une pièce dont un mur entier est constitué d'un écran à projection arrière. L'usager est assis confortablement sur un fauteuil pivotant situé au centre de la pièce. Sur chaque bras du fauteuil se trouve une manette de jeu («joystick») et une mini-surface tactosensible. De chaque côté du fauteuil et à portée de la main se trouvent deux écrans cathodiques recouverts d'une surface transparente, elle aussi tactosensible. Un micro peut enregistrer la voix de l'usager, et la pièce est dotée de huit haut-parleurs responsables de l'environnement sonore.

L'un des écrans cathodiques sert à présenter une image de chacun des «objets» disponibles dans l'environnement de travail virtuel fourni par les ordinateurs (qui sont dissimulés dans une autre pièce). Cet environnement comprend, entre autres, un téléphone, une calculatrice, un calendrier, des livres, des cartes et des photos. La sélection de l'un ou l'autre de ces objets se fait soit à l'aide d'une manette de jeu, soit en touchant l'image sur l'écran. Une image plus détaillée de l'objet choisi apparaît alors sur l'autre écran cathodique ainsi que sur l'écran à projection arrière.

S'il s'agit de la calculatrice, il est possible d'effectuer les calculs en pressant les touches virtuelles sur l'écran cathodique. S'il s'agit du livre, il est possible d'en changer les pages simplement en effectuant un mouvement du doigt sur la mini-surface sensible. Un mouvement allant du coin droit supérieur au coin gauche inférieur permet de passer à la page suivante dans le sens du texte alors que le mouvement inverse permet de retourner en arrière.

Le graphisme sur l'écran de projection donne l'impression que les feuilles tournent effectivement. Enfin, s'il s'agit d'images ou de photos, il est possible d'en choisir des sections pour agrandissement ou rétrécissement à l'aide de la manette de jeu. Une autre application permet à l'usager de se balader dans la ville d'Aspen au Colorado. Des photos ont été prises des rues de la ville à tous les neuf pieds et stockées sur un disque optique. Il suffit de déplacer la manette de jeu de la position neutre à la position avant pour progresser le long d'une rue, de positionner la manette à droite pour prendre la rue de droite si elle existe ... et les images défilent comme si vous y étiez ou presque.

Un autre appareil qui peut être utilisé dans la chambre-média permet de suivre la position d'un membre dans l'espace. En attachant cet appareil à un doigt, il devient possible de pointer à distance les objets représentés sur l'écran à projection. La chambre est aussi pourvue d'une capacité limitée de reconnaissance de la parole. Toutefois, cette capacité est suffisante pour permettre une interprétation correcte de phrases aussi ambiguës que "Mets ça là" lorsque l'usager pointe les endroits appropriés. Des travaux sont en cours pour utiliser la direction du regard de l'usager comme indicateur de son centre d'attention (et peut-être même la dilatation pupillaire comme indicateur de son intérêt).

On essaie aussi de déborder du cadre bidimensionnel des images. Comme nous le savons, l'impression visuelle de tridimensionnalité vient en partie de la disparité entre les images qui proviennent à chacun des deux yeux. Bolt et ses collègues ont donc imaginé de présenter des images légèrement décalées à chacun des deux balayages sucessifs de l'écran cathodique tout en prenant soin d'obstruer la vision de chacun des deux yeux en alternance. Une synchronisation parfaite entre l'alternance des yeux et l'alternance des images permet à chaque oeil de recevoir une image suffisamment différente de l'image captée par l'autre oeil pour percevoir la tridimensionnalité. Si, plutôt que de regarder directement l'écran, le sujet en observe plutôt une réflexion dans un miroir, il aura l'impression de voir un objet tridimensionnel flottant dans l'espace virtuel situé derrière le miroir. Cet espace peut devenir réel en utilisant un miroir semi-opaque qui permet de voir simultanément ce qui se trouve

derrière le miroir en plus de l'image réfléchie provenant de l'écran situé devant le miroir. Ainsi, en passant son bras derrière le miroir, le sujet peut voir sa main réelle s'approcher de l'objet virtuel. L'enregistrement des mouvements de la main et le déplacement coordonné de l'image de l'objet sur l'écran donneront alors l'impression au sujet de déplacer l'objet. Il est évident qu'un tel dispositif demeure très obstructif pour le sujet qui, s'il en croit ses illusions, risque de se blesser la main sur le miroir (sans parler des oeillères qu'il doit porter). Toutefois, le dispositif pourra être allégé considérablement dans l'avenir lorsque les images tridimensionnelles seront produites par holographie. Parlant de poids, rien n'empêche de mesurer les contractions musculaires du sujet et d'exiger que la force déployée pour déplacer les objets virtuels dépende de la nature de ces objets. À ce moment, l'expression «interface à manipulation directe», qui est interprétée aujourd'hui de façon métaphorique, pourra être utilisée de façon tout à fait littérale.

3.3 L'interface cognitive

La plainte la plus fréquemment formulée par les ergonomes oeuvrant dans le domaine des interactions avec les ordinateurs est que le facteur humain est considéré trop tard. Plutôt que de pouvoir contribuer au développement harmonieux des nouvelles technologies, la science ergonomique doit souvent se contenter de résoudre les problèmes humains soulevés par les nouveaux outils technologiques. À ce stade, les pressions économiques peuvent être telles que les suggestions fournies par les ergonomes seront ignorées (l'histoire du clavier en est un exemple).

Malheureusement, si l'on en juge par les quelques paragraphes qui précèdent, la même situation va probablement encore durer pendant quelques décennies. En effet, nos connaissances technologiques ouvrent un champ de possibilités absolument gigantesque, en comparaison duquel nos connaissances sur l'humain ont une étendue très limitée. En l'absence

de connaissances suffisantes sur le facteur humain, ce seront sans doute les facteurs économiques qui dicteront lesquelles des possibilités offertes par la technologie seront effectivement réalisées.

Le fait que la science ergonomique soit dépendante des innovations technologiques sera aussi évident dans les paragraphes qui suivent. Depuis les débuts de l'informatique, nous pouvons communiquer avec l'ordinateur à l'aide de langages spécialement conçus à cette fin. Nous savons donc plus de choses à propos des langages de programmation et des langages de commandes que nous n'en savons à propos des icônes et de l'organisation des fenêtres, puisque ces méthodes de communication (qui seront décrites plus loin dans cette section) sont d'utilisation récente.

Les interfaces à base de langage

Les mots et les abréviations. L'évolution des langages disponibles pour communiquer avec l'ordinateur montre une flexibilité croissante. À l'époque des «langages-machine», les usagers devaient exprimer les instructions et désigner l'adresse des contenus en mémoire par des séquences de chiffres binaires. L'avènement de programmes appelés «assembleurs» a permis aux usagers d'utiliser des abréviations pour désigner les opérations et les registres de mémoire. Toutefois, la correspondance entre les abréviations et leur interprétation était déterminée par la machine. Cette correspondance un à un n'existe plus dans le cas de compilateurs : les mots utilisés désignent des commandes qui peuvent être effectuées de différentes façons par différentes machines. De nombreux autres progrès ont été faits qu'il serait trop long de décrire ici. L'aspect important de ces développements est qu'ils ont permis d'utiliser à peu près n'importe quel terme pour désigner à peu près n'importe quoi. Puisqu'il faut tout de même choisir des termes pour désigner les commandes, la question qui se pose aux concepteurs de logiciel est : quels sont les meilleurs termes à employer?

Plusieurs chercheurs se sont penchés sur ce problème. Landauer, Galotti et Hartwell (1983) ont commencé par analyser les mots que les usagers choisiraient spontanément

pour désigner les cinq opérations (insérer, effacer, remplacer, déplacer et transposer) et objets de base (espace, caractère, mot, ligne et paragraphe) de la tâche d'édition de texte. Landauer et ses collègues ont trouvé une grande variabilité dans les termes choisis par les différents usagers pour désigner chacune des 25 paires possibles d'opération-objet. Ainsi, la probabilité que deux usagers différents utilisent le même verbe dans la même situation a été estimée, d'après les données, à 8 % seulement. Ce résultat n'aurait pas dû surprendre tellement la communauté des chercheurs, puisque c'est une propriété de la langue naturelle que d'offrir plusieurs mots différents pour désigner une même réalité. Une autre propriété de la langue naturelle est que le même mot peut souvent désigner des réalités différentes. Ce problème d'ambiguïté lexicale se retrouve aussi dans les résultats de Landauer *et al.*, la probabilité qu'un même sujet utilise le même verbe dans deux situations similaires étant d'environ 34 %.

Face à une telle variabilité, il est évident que les intuitions du concepteur de logiciel quant au choix du vocabulaire ne suffisent plus. À titre d'exemple, les termes choisis par le concepteur du logiciel utilisé dans l'expérience de Landauer *et al.* ne correspondaient aux termes majoritairement choisis par les usagers que pour une des 25 combinaisons possibles. Deux autres approches ont été suggérées. La première approche, qui est illustrée par les travaux de Rosenberg (1982), consiste à privilégier les termes qui sont les plus fidèles aux opérations qu'ils désignent. Alors que cette approche est axée sur le système, l'autre est davantage centrée sur l'usager et consiste à choisir les termes qui seront le plus facilement appris et remémorés par les usagers du logiciel.

Cette seconde approche est illustrée par les travaux de Black et Moran (1982) à Xerox PARC et ceux du groupe de Barnard au «MRC Applied Psychology Unit» (p. ex. Barnard, Hammond, MacLean et Morton, 1982). Ces auteurs se sont demandés s'il était préférable d'utiliser des termes généraux ou des termes plus spécifiques. On peut croire que les termes généraux sont préférables puisqu'ils seront plus facilement évoqués dans les situations appropriées. Par ailleurs, il est possible que les termes généraux soient aussi évoqués dans des situations inappropriées, ce qui porte à penser que les termes spécifiques sont meilleurs. Les

résultats des expériences citées ont donné lieu à une meilleure performance de la part des usagers qui avaient appris et utilisé les termes plus spécifiques. Il semble donc que l'approche centrée sur l'usager converge avec l'approche centrée sur le système, les termes qui sont spécifiques aux opérations du système étant aussi les mieux adaptés aux usagers.

Il faut noter toutefois que les résultats décrits précédemment ont été obtenus dans une situation où les sujets devaient se «remémorer» eux-mêmes le nom des commandes. La situation est très différente dans le cas de sytèmes dotés de menus. Les usagers doivent alors simplement «reconnaître» parmi les options présentées laquelle est la bonne. Il est connu qu'en général, une tâche de reconnaissance surcharge moins la mémoire humaine qu'une tâche de rappel. Toutefois, le problème des mots n'est pas uniquement un problème de mémoire. C'est aussi un problème de cohérence interne du vocabulaire utilisé. Ainsi, si un mot désigne une action, les usagers peuvent croire que l'action inverse est désignée par l'antonyme, ce qui n'est et ne peut pas toujours être le cas. Certains systèmes permettent aux usagers d'utiliser plusieurs mots différents pour désigner chaque commande. Si de tels systèmes réduisent le problème de mémoire en augmentant le vocabulaire accepté, ils n'en éliminent pas pour autant le problème de la cohérence.

Un autre problème lié aux mots (mais plus prosaïque que les précédents) est que les mots sont longs à dactylographier. Des abréviations peuvent représenter une économie de temps considérable. Elles sont évidemment moins utiles quand le choix des commandes peut s'effectuer simplement en pointant une option dans un menu. Les abréviations acceptées par différents systèmes viennent sous toutes les formes et toutes les longueurs. Plutôt que de dactylographier les mots entiers, il est souvent possible de s'arrêter à la première lettre qui permet de discriminer le mot désigné des autres mots du vocabulaire. Cette méthode donne généralement des abréviations de longueur variable. Une autre méthode d'abréviation fréquemment utilisée est la contraction, qui consiste à éliminer les voyelles des mots et à ne conserver qu'une partie des consonnes. Une autre méthode consiste à ne conserver que la première syllable d'un mot. Parfois, les abréviations ne dérivent même pas de mots entiers ou,

s'ils en dérivent, personne ne sait plus à quels mots ils se réfèrent : lequel parmi les usagers du système UNIX peut dire quel mot est représenté par l'abréviation «cat»?

De nombreuses recherches ont été effectuées pour déterminer laquelle des méthodes d'abréviation était la meilleure (voir Nickerson, 1986). Moses et Ehrenreich (1981) ont résumé ces travaux et ont conclu que la méthode consistant à tronquer les mots est parmi les plus efficaces mais qu'il est préférable d'utiliser des abréviations de longueur fixe. Grudin et Barnard (1985) ont montré que des abréviations conçues suivant ces règles étaient apprises plus facilement et donnaient lieu à moins d'erreurs que les abréviations inventées spontanément par les usagers. Un autre but de l'expérience était de déterminer à quel moment il est utile d'enseigner des abréviations aux usagers. Un groupe de sujets a appris les abréviations dès la première séance de l'expérience, sans savoir à quels mots ces abréviations se référaient, alors qu'un second groupe de sujets a d'abord appris les mots, les abréviations n'étant introduites qu'à la seconde séance de l'expérience. La performance de ce dernier groupe a été meilleure dès la seconde séance et aussi par la suite.

La syntaxe. Il ne suffit pas de connaître les mots et les abréviations d'un langage de commandes pour pouvoir utiliser un système efficacement. Encore faut-il savoir ordonner correctement les termes qui désignent les actions et les termes qui désignent les objets sur lesquels portent ces actions. C'est le problème de la syntaxe. Dans certaines langues naturelles, comme le français, les verbes d'action précèdent leurs compléments d'objet alors que, dans d'autres langues, c'est l'inverse. Certaines langues naturelles permettent les deux ordres. On retrouve une diversité syntaxique aussi grande et même plus grande au sein des langages artificiels, puisque les contraintes d'ordre y sont plus arbitraires que dans le cas des langues naturelles.

Compte tenu de leurs aspects abstraits et arbitraires, les langages de commandes présentent des difficultés d'apprentissage énormes. Ces difficultés peuvent être réduites si l'ordre des commandes et de leurs arguments est fixe et systématique. Il semble aussi que les langages de commande dont la structure s'apparente davantage à la langue naturelle des usagers

soient plus facilement appris (Ledgard, Whiteside, Singer et Seymour, 1980; Scapin, 1982). Enfin, certaines expériences (Scapin, 1982) suggèrent que la syntaxe est mieux retenue quand ce sont les sujets eux-mêmes qui ont choisi l'ordre des commandes et des arguments.

Le langage naturel. Une façon d'éviter ce problème d'apprentissage serait de communiquer dans la langue naturelle des usagers puisque le vocabulaire et la syntaxe leur en sont déjà connus. Un autre avantage du langage naturel réside dans la richesse et la flexibilité d'expression qu'il permet. La puissance d'expression du langage vient de sa nature combinatoire. Ainsi, seulement 26 lettres suffisent pour écrire tous les mots de la langue française. Évidemment, toutes les combinaisons de lettres ne produisent pas des mots français; il existe des règles d'orthographe qui déterminent de façon plus ou moins rigide les combinaisons de lettres qui sont admissibles. De façon similaire, les règles de la syntaxe déterminent les combinaisons de mots qui constituent des phrases. Or, le nombre de phrases qu'il est possible d'exprimer en suivant ces règles est littéralement infini.

Cette puissance d'expression constitue aussi l'obstacle majeur à l'utilisation de la langue naturelle comme mode de communication avec les ordinateurs. Il est possible de mettre dans la mémoire de l'ordinateur l'ensemble des mots d'une langue et même un nombre considérable d'expressions préformées (p. ex., «Bonjour! comment t'appelles-tu?») que nous appellerons *gabarits* par la suite. Mais il est théoriquement impossible d'y entrer toutes les phrases possibles.

Les premiers systèmes automatiques pour le traitement du langage naturel étaient basés sur l'usage presque exclusif de gabarits pour reconnaître les intrants de l'usager et pour produire les extrants. L'un de ces systèmes est le programme ELIZA, conçu par Weizenbaum, qui tenait le rôle de thérapeute dans une consultation psychologique avec l'usager. Weizenbaum (1976) rapporte que, malgré le peu de flexibilité du système, les usagers se prenaient sérieusement au jeu. Les systèmes actuels ne fonctionnent plus sur la base de gabarits mais utilisent des règles qui leur permettent d'analyser la structure d'un nombre

considérable de phrases. Nous ne connaissons malheureusement pas encore l'ensemble des règles qui permettraient d'analyser toutes les phrases possibles de la langue.

Un autre problème lié au langage naturel est qu'il ne suffit pas d'extraire la structure des phrases. Il faut aussi en découvrir le sens. Or, comme nous l'avons déjà mentionné, certains mots sont ambigus. Pour en comprendre le sens, il faut souvent tenir compte non seulement des autres mots qui les entourent, mais aussi du sujet général de la conversation, du contexte physique (p. ex., «Mets ça là») et parfois même des intentions de la personne qui les émet. En d'autres termes, pour pouvoir comprendre la totalité du langage naturel, il faut posséder et coordonner une masse énorme de connaissances, et nous ne savons pas encore comment les humains y arrivent.

Même s'il n'existe pas encore de système général pour la compréhension et la production automatique du langage, il existe toutefois des systèmes spécialisés qui ont un certain taux de succès. La plupart des interactions humain-ordinateur se font aujourd'hui dans le contexte spécifique de tâches bien circonscrites. L'ordinateur peut donc posséder toutes les connaissances du domaine qui sont requises pour interpréter les questions et les commandes de l'usager et pour produire des réponses adaptées. Par ailleurs, Chapanis, Parrish, Ochsman et Weeks (1977) ont montré que les usagers tendent à utiliser non seulement un vocabulaire restreint mais aussi des formes grammaticales stéréotypées lorsqu'ils interagissent avec les ordinateurs. Les systèmes d'analyse automatique du langage peuvent tirer profit de ces tendances.

Enfin, un dernier obstacle à l'utilisation du langage comme mode de communication avec les ordinateurs tient à sa redondance. Les messages émis en langage naturel sont généralement plus longs que les messages correspondants émis dans un langage de commandes artificiel. Donc, l'usager doit effectuer plus de frappes sur un clavier, ce qui augmente le temps d'exécution. Évidemment, ce problème ne se pose pas avec la même acuité quand les messages sont émis par voie orale.

La parole. En plus d'être sujette aux problèmes syntaxiques et sémantiques décrits précédemment, l'analyse automatique de la parole est rendue très difficile par les problèmes phonologiques. Alors que les lettres d'un mot sont distinctes les unes des autres, les sons de la parole se chevauchent à l'intérieur d'un mot. Les mots imprimés sont séparés par un espace, mais les sons de la parole se chevauchent souvent d'un mot au suivant. L'impression que les mots sont séparés par un silence n'est qu'une illusion. Pour s'en rendre compte, il suffit d'essayer de détecter la frontière entre les mots d'une langue étrangère. À l'heure actuelle, nous ne connaissons pas de procédure générale pour segmenter la chaîne acoustique et pour extraire les segments correspondant aux différents mots prononcés.

La plupart des systèmes commerciaux pour la reconnaissance automatique de la parole ne fonctionnent que pour des mots ou des expressions isolés. Il faut distinguer parmi ces systèmes ceux qui sont destinés à l'usage d'un seul individu de ceux qui sont destinés à plusieurs usagers. Dans le premier cas, l'usager doit d'abord prononcer chacun des mots et expressions du vocabulaire disponible de façon que l'ordinateur stocke un gabarit du segment acoustique correspondant. C'est la phase d'apprentissage. Au moment de l'usage, l'ordinateur compare les mots prononcés par l'usager à chacun des gabarits en mémoire par une procédure d'appariement assez complexe, appelée *programmation dynamique*. Le succès de tels systèmes dépend en grande mesure des options qui sont autorisées dans le vocabulaire. Plus les mots ont des représentations acoustiques différentes, moins l'ordinateur a de chances de se tromper et de reconnaître un mot autre que celui qui a été prononcé. Les systèmes destinés à des usagers multiples fonctionnent selon des principes semblables, mais leur vocabulaire est généralement plus restreint : puisqu'un même mot peut être prononcé de différentes façons par différentes personnes, les options permises dans le vocabulaire doivent être maximalement distinctes sur le plan acoustique.

Des problèmes analogues, quoique moins graves, se retrouvent du côté de la production automatique de la parole. Alors qu'il est très facile de reproduire ou même de synthétiser des messages prédéfinis, il est très difficile de composer un nouveau message à

partir des sons élémentaires du langage. Cela requiert d'abord de fusionner les sons successifs et ensuite d'imposer un contour intonatoire à l'ensemble du message. Des progrès remarquables ont été faits dans ce domaine au cours de la dernière décennie, mais la parole produite n'a pas encore une qualité tout à fait naturelle.

Même si nos connaissances actuelles concernant l'analyse et la synthèse automatique de la parole ne nous permettent pas de construire des interfaces qui reflètent toute la richesse du langage, elles nous permettent déjà de construire des interfaces lorsque l'objectif est moins ambitieux. Ainsi, il est déjà possible de donner oralement des commandes à un système, comme la chambre-média décrite précédemment l'illustre bien. Certains auteurs soulignent que les progrès dans l'analyse et la synthèse automatique de la parole soulèveront des problèmes qui peuvent atteindre une dimension philosophique. D'abord, si le système s'exprime de façon naturelle, les gens seront enclins à penser qu'il peut comprendre tout ce qu'ils disent. Or, même si le système peut reconnaître tous les mots émis, cela ne signifie pas pour autant qu'il peut en comprendre le sens. Ensuite, quel type de voix aura ce partenaire de travail et de jeu que peut être l'ordinateur : une voix d'homme, une voix de femme, la voix de votre conjoint(e) ou celle d'un(e) autre? En somme, doit-on viser à ce que l'interface copie fidèlement l'humain ou doit-elle garder des propriétés artificielles? Cette question se posera très concrètement dans un avenir qui n'est pas très éloigné.

Les interfaces iconiques

L'avènement de écrans adressables («bitmap») a littéralement révolutionné l'interface. Avant cette technologie, les interactions humain-ordinateur prenaient généralement la forme d'un dialogue contraint entre l'usager qui entrait les commandes et le système qui répondait. Maintenant, l'usager peut sélectionner et exécuter ou faire exécuter des actions sur des objets représentés graphiquement à l'écran, d'où la métaphore de la «manipulation d'objets».

Les menus. L'importance de ce changement de perspective est illustré par l'apparition des interfaces à menu. Ces interfaces permettent à l'usager de choisir les commandes parmi les options qui lui sont présentées spatialement sur l'écran. Puisque les options peuvent être présentées sous forme de mots, les interfaces à menu ne sont pas limitées aux seuls systèmes dotés d'écrans adressables. La preuve en est qu'il existe maintenant des interfaces à menu sur des systèmes traditionnels. Le fait que les interfaces à menu soient apparues après l'avènement des écrans adressables montre qu'il fallait d'abord changer notre façon d'envisager l'interaction et la concevoir de façon spatiale.

Plusieurs chercheurs (p. ex., Ramsey et Grimes, 1983; Shneiderman, 1982) ont perçu très rapidement l'importance de ce changement, certains allant jusqu'à prétendre que les interfaces à manipulation directe constituaient la solution à tous les problèmes. Il est vrai que certains problèmes peuvent être réduits ou même éliminés dans les interfaces à manipulation directe. Ainsi, comme nous l'avons déjà mentionné, la présentation des noms de commandes dans un menu en facilite l'apprentissage et le rappel. Les usagers peuvent même éviter d'apprendre la syntaxe d'un langage complexe lorsque le système offre lui-même les options qui sont permises à chaque étape du processus d'entrée des commandes. Par ailleurs, les interfaces à manipulation directe soulèvent de nouveaux problèmes concernant l'organisation de l'espace, lequel est relativement restreint sur les écrans actuels.

Ainsi, une question qui a été soulevée en ce qui concerne l'organisation des menus consiste à savoir s'il est préférable de présenter simultanément le plus grand nombre d'options possibles, quitte à monopoliser tout l'espace disponible sur l'écran, ou s'il est préférable de regrouper les options en catégories, quitte à ce que l'usager doive faire un second choix parmi les éléments de chaque catégorie. La première façon de faire s'appelle *organisation en largeur* ou *horizontale* («breadth-first») alors que la seconde s'appelle *organisation en profondeur* ou *verticale* («depth-first»). Plusieurs études ont été effectuées sur cette question (voir Landauer et Nachbar, 1985) et il semble qu'une organisation en largeur soit préférable dans plusieurs situations. Le fait que différentes options soient présentées simultanément à l'écran permet à

l'usager de les comparer aisément. Ce processus de comparaison est évidemment facilité lorsque les options sont distribuées sur l'écran suivant une règle qui permet à l'usager de les localiser directement sans avoir à balayer tout l'écran des yeux. Le nombre de choix successifs est moindre que dans une organisation en profondeur, ce qui fait gagner du temps, et les erreurs sont aussi moins nombreuses. Il est connu que les usagers éprouvent beaucoup de difficulté à se retrouver lorsqu'ils font une erreur dans une séquence de choix hiérarchique. Malheureusement, une organisation parfaitement horizontale n'est pas toujours possible : les options offertes dans les grandes banques de données sont souvent si nombreuses qu'elles déborderaient des quatre côtés de l'écran.

Les fenêtres et les lentilles. Il y a deux façons de briser les limites spatiales imposées par la taille de l'écran. La méthode «dure» consiste à accroître la taille physique de l'écran, comme dans la chambre-média. Cette solution pose des problèmes psychophysiques liés à la résolution de l'écran et à celle de l'oeil. Elle est aussi très coûteuse. La méthode «douce» consiste à accroître l'espace virtuel. Ainsi, plutôt que de concevoir l'écran comme délimitant l'espace, il peut être conçu comme une fenêtre ouverte sur un espace plus vaste. Plusieurs micro-ordinateurs personnels, comme le Macintosh, offrent déjà la possibilité d'avoir plusieurs fenêtres ouvertes simultanément. Malheureusement, les fenêtres se superposent les unes aux autres sur l'écran, de sorte que l'information présentée dans une fenêtre peut cacher l'information contenue dans une autre. La métaphore du tableau semble donc plus appropriée que celle de la fenêtre. Dans d'autres systèmes, les fenêtres doivent plutôt être conçues comme des portes par lesquelles l'usager peut entrer dans un nouvel espace qui vient alors remplacer le précédent sur l'écran. En somme, comme c'était le cas pour les menus, il existe une façon horizontale et une façon verticale d'organiser les fenêtres.

Les techniques de «lentilles» ne sont pas encore aussi répandues que les systèmes à fenêtre. Dans la chambre-média, il est possible de choisir entre une image d'ensemble mais non détaillée d'un espace ou d'un objet et une image plus détaillée mais aussi plus restreinte de l'espace. Il est aussi possible de passer de façon relativement continue d'une vision

d'ensemble à une vision rapprochée. Ces différentes situations correspondent aux possibilités offertes par les lentilles télé, les lentilles grand-angle et les zooms dans le domaine de l'optique. Une possibilité intermédiaire entre le plan rapproché et le plan éloigné correspond à la lentille oeil-de-poisson («fisheye»). Il s'agit de présenter de façon détaillée l'information qui est au centre de l'attention et de réduire progressivement le grain du reste de l'information en fonction de sa distance du centre d'attention. Toutes ces techniques d'exploitation de l'espace peuvent être utilisées dans des applications graphiques. Elles peuvent aussi être adaptées à la présentation d'information verbale (voir Furnas, 1986).

Les icônes. Un des grands avantages de la technologie bitmap est qu'elle permet de représenter des objets réels ou des concepts abstraits sous forme de symboles imagés, appelés icônes. La question de la puissance évocatrice des images se pose donc de façon aiguë et ne fait que commencer à être étudiée dans le domaine des interactions humain-ordinateur. De façon plus générale, ce sont tous les problèmes relatifs à l'imagerie et aux représentations mentales de l'espace qui sont remis au premier plan depuis l'avènement des interfaces à manipulation directe.

Chapitre 4

L'usager

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, l'ergonomie vise essentiellement à adapter le travail à l'être humain, l'outil à l'usager. Une bonne connaissance de l'être humain s'avère donc nécessaire et l'expression «connaître l'usager» constitue l'une des maximes fondamentales de l'ergonomie. Toutefois, depuis les débuts de la science ergonomique, cette maxime a été interprétée différemment en fonction de la nature des outils et des machines de travail considérés.

L'existence d'outils destinés à assister l'être humain dans son labeur physique a amené l'ergonomie à se préoccuper très tôt de facteurs relatifs à la manoeuvrabilité de tels outils et à la santé de leurs utilisateurs. Lors de la Seconde Guerre mondiale, avec l'avènement de machines destinées à la détection de signaux (par exemple, le radar) et au contrôle d'opérations, les préoccupations de l'ergonomie ont dû s'étendre aux fonctions perceptives et aux capacités attentionnelles de l'être humain. L'ergonomie et la psychologie ont commencé à converger vers des problèmes communs.

L'avènement de l'ordinateur a élargi encore davantage le champ des connaissances requises en rapport avec l'usager. Aussi retrouve-t-on aujourd'hui dans les journaux et périodiques spécialisés en ergonomie de multiples exhortations à interpréter la maxime «connaître l'usager» de façon à couvrir l'ensemble des fonctions cognitives humaines. L'avènement de l'ordinateur a aussi eu un impact considérable en psychologie, les fonctions cognitives de l'être humain étant désormais conçues comme des systèmes de traitement de l'information symbolique. Cette conception constitue aujourd'hui l'approche dominante en psychologie. Aussi présenterons-nous dans la prochaine section une brève caractérisation de l'usager basée sur les recherches en psychologie du traitement de l'information.

Si l'avènement de l'ordinateur nous force à étendre nos connaissances de l'usager, il permet par ailleurs à nos connaissances d'avoir un impact plus considérable qu'à l'époque de l'ergonomie physique. À cette époque, il était impensable de vouloir adapter la machine à chaque usager. En effet, adapter une machine physique à différents usagers implique de modifier le processus de production industrielle, et de telles variations deviennent rapidement trop onéreuses. Tel n'est pas toujours le cas en ce qui concerne les ordinateurs. L'ordinateur n'est pas limité à manipuler des symboles spécifiques dans une situation donnée. Chaque ordinateur est une machine universelle, capable d'imiter toute autre machine à manipuler des symboles. Pour ce faire, il suffit de changer le logiciel. Or modifier le logiciel d'un ordinateur ne nécessite pas toute une infrastructure industrielle. Donc, en ce qui concerne les tâches de nature cognitive, il est tout à fait concevable d'adapter les machines aux différents usagers, mais cela requiert une connaissance plus différenciée de ces derniers.

À l'époque de l'ergonomie physique, les connaissances recherchées en ergonomie étaient essentiellement de nature statistique : il s'agissait de spécifier les propriétés physiques de l'usager moyen et de déterminer les variations de ces propriétés dans la population. L'anthropométrie constitue un bon exemple de ce type de recherche. Les paramètres obtenus pouvaient ensuite servir à la construction d'appareils adaptés à la majorité de la population. Au niveau psychologique, l'étude des différences individuelles servait surtout à la sélection du personnel. Puisqu'il était impossible d'adapter les machines aux individus, il s'agissait de choisir dans la population les personnes les mieux adaptées à un travail donné. Il fallait aussi envisager des périodes de formation plus ou moins longues. Or la sélection du personnel et la formation consistent à adapter l'individu à son travail.

L'ordinateur a le potentiel de renverser cette situation et de la rendre davantage conforme aux objectifs de l'ergonomie. Les taxonomies psychologiques peuvent servir à développer des logiciels plus différenciés et mieux adaptés aux diverses catégories d'usagers. Dans la seconde section de ce chapitre, nous ferons un bref survol des recherches dans ce domaine.

Ces recherches nous laissent encore très loin de l'usager individuel, avec ses caractéristiques et ses idiosyncrasies personnelles. Est-il absurde d'envisager des logiciels personnalisés? Les coûts de programmation étant ce qu'ils sont, il est bien évident qu'aucune compagnie ne peut espérer mettre en marché des produits tout à fait individualisés. Par contre, il est déjà possible de mettre en marché un produit qui s'adaptera à l'usager. Depuis l'avènement des ordinateurs, l'informatique et plus spécifiquement l'intelligence artificielle sont venues s'ajouter au nombre des disciplines qui se préoccupent de l'usager. Certains travaux en cours dans ces disciplines portent sur la mise au point de logiciels capables de se construire un modèle de l'usager et d'agir sur la base de ce modèle. Ces travaux seront passés en revue dans la troisième section de ce chapitre.

En somme, ce chapitre tente de résumer le statut de nos connaissances relatives à l'usager en adoptant une perspective de plus en plus différenciée : partant de l'usager type, nous passerons ensuite aux types d'usagers pour aboutir à l'usager individuel.

4.1 L'usager type

Depuis environ trente ans, des recherches en psychologie tentent de caractériser les fonctions cognitives humaines en tant que systèmes de traitement de l'information. Ces recherches ont donné et donnent encore lieu à de nombreuses controverses. Toutefois, elles ont permis de dégager une certaine vision de l'être humain qui est assez généralement acceptée et que nous présenterons brièvement dans les paragraphes qui suivent. Cette perspective est décrite de façon détaillée dans plusieurs livres d'introduction à la psychologie cognitive, tels ceux d'Anderson (1985) et de Howard (1983), par exemple. Nous nous bornerons ici à présenter une vision un peu simplifiée tirée de Card, Moran et Newell (1983). Ces auteurs ont tenté d'incorporer les principaux résultats expérimentaux obtenus au cours des trente dernières années dans un modèle général capable de rendre compte de la performance de l'usager type

dans différentes situations d'interaction avec des machines. C'est dire que la complexité des phénomènes cognitifs a été délibérément sacrifiée au profit de la précision du modèle.

Le modèle proposé par Card, Moran et Newell s'appelle «Model Human Processor». Selon ce modèle, l'être humain possède trois systèmes de mémoire. Au niveau le plus périphérique se trouvent les registres d'information sensorielle. Comme leur nom l'indique, ces registres préservent l'information sensorielle qui provient du monde extérieur par les voies visuelles et auditives. La quantité d'information qui peut être contenue dans ces registres est estimée environ à 17 lettres pour le registre visuel et à 5 lettres pour le registre auditif. Quant à la durée pendant laquelle l'information peut être préservée dans ces registres, elle est très limitée : environ 200 ms pour le registre visuel et 1500 ms pour le registre auditif. Nous avons donc là les premières limites du traitement de l'information chez l'humain.

Pour qu'elle ne soit pas perdue, l'information doit être transférée dans une autre mémoire : la mémoire de travail. Dans le modèle, les opérations par lesquelles l'information sensorielle est transférée à la mémoire de travail sont attribuées au processeur perceptif. L'information contenue dans la mémoire de travail préserve son caractère visuel ou auditif, mais elle a été interprétée. Une conséquence de cette interprétation est que l'information est maintenant regroupée en unités significatives (appelés «chunks»). Ainsi, par exemple, le mot *oui* ne constitue qu'une seule unité significative, alors qu'une suite de lettres sans signification comme *bfx* constitue trois unités. La capacité totale de la mémoire de travail est d'environ sept groupements significatifs, ce qui s'avère très commode pour retenir un numéro de téléphone. Comme le numéro de téléphone peut être retenu en se le répétant sans cesse mentalement, l'information contenue en mémoire de travail sera conservée tant et aussi longtemps qu'elle occupe le foyer de l'attention. Par contre, en l'absence d'attention, l'information sera perdue à une vitesse relative à la quantité d'information contenue en mémoire. Ainsi, il suffit d'environ sept secondes pour oublier trois groupements significatifs, alors qu'un seul groupement peut être préservé pendant légèrement plus d'une minute sans attention.

Le processeur cognitif opère sur les représentations contenues en mémoire de travail pour déterminer les actions à prendre, alors qu'un troisième processeur, le processeur moteur, est responsable du contrôle des mouvements requis pour l'exécution de la tâche. Chaque opération élémentaire effectuée par les différents processeurs requiert environ 100 ms, mais la vitesse de ces opérations peut varier en fonction de différents facteurs, comme nous le verrons plus loin.

Pour déterminer l'action à entreprendre, le processeur cognitif peut avoir accès, si nécessaire, à l'information contenue dans le dernier système de mémoire : la mémoire à long terme. Cette mémoire contient l'ensemble des connaissances acquises. Les connaissances y sont associées entre elles suivant les rapports sémantiques qu'elles entretiennent. La capacité totale de la mémoire à long terme est à toutes fins utiles illimitée et les connaissances qui y sont stockées ne sont jamais perdues. Toutefois, le fait que toutes les connaissances acquises soient préservées ne signifie pas qu'elles soient toujours accessibles. Dans le modèle, l'extraction des connaissances se fait par voies associatives, et il peut arriver que les associations recouvrées ne contiennent pas l'information recherchée.

Le modèle comporte un ensemble de principes qui régissent le fonctionnement des différents processeurs et des différents systèmes de mémoire. Ainsi, par exemple, un principe affirme que la vitesse d'opération du processeur perceptif dépend de l'intensité de la stimulation. Un autre principe veut que la vitesse d'opération du processeur cognitif soit liée à la complexité cognitive de la tâche. Lorsque la complexité de la tâche dépend du nombre de possibilités à considérer, le temps de décision du processeur cognitif est déterminé par l'incertitude de la situation, suivant la loi de Hick-Hyman. Le processeur moteur, lui, obéit à la loi de Fitts, la durée des mouvements étant fonction de la distance à parcourir et de la précision requise. En ce qui concerne les systèmes de mémoire, un principe veut que l'accessibilité d'une information dépende de la discriminabilité de cette information par rapport aux autres informations présentes. Selon un autre principe, le principe de la spécificité du codage, les meilleurs indices pour recouvrer une connaissance sont ceux qui étaient présents au moment de

l'apprentissage. Enfin, un dernier principe relie la vitesse d'exécution d'une tâche à la quantité de pratique.

Tous ces principes et tous les paramètres du modèle sont tirés d'expériences classiques en psychologie cognitive. En plus de fournir une synthèse des connaissances acquises dans le domaine, le modèle présente l'avantage d'être défini numériquement. Ainsi, il peut permettre de calculer les effets qu'auront certaines décisions concernant le design d'une machine sur la performance future de l'usager. Par exemple, le modèle peut prédire le temps qu'il faudra pour reconnaître un stimulus, choisir la bonne réponse parmi un ensemble de réponses possibles et exécuter les mouvements appropriés. Le modèle permet même parfois de décider de la mnémonicité relative de différents ensembles de commandes.

Par ailleurs, les limites du modèle sont évidentes : il n'épuise ni les capacités de base de l'être humain ni celles de la machine. Depuis l'avènement de l'ordinateur, les interactions personne-machine peuvent prendre des formes très complexes pouvant aller jusqu'à l'utilisation du langage naturel. Or, le modèle de Card, Moran et Newell ne prévoit aucun mécanisme pour la compréhension du langage naturel. De façon plus générale, le modèle ne peut rendre compte des situations qui requièrent réflexion et compréhension de la part de l'usager. Card *et al.* émettent le principe que, dans de telles circonstances, le comportement est déterminé par un ensemble de facteurs tels la structure de la tâche, le but poursuivi et les opérations disponibles pour l'atteindre, les connaissances de l'usager, l'information perçue et les limites du traitement. Or, de ces facteurs, seuls les deux derniers sont couverts par le «Model Human Processor». C'est donc dire que pour rendre compte de la performance dans des situations complexes, les modèles doivent non seulement être spécifiques à une tâche donnée, mais ils doivent aussi tenir compte du niveau de compétence des différents usagers. Cette dernière exigence est par définition impossible à satisfaire dans un modèle canonique de l'usager type.

4.2 Les types d'usagers

Dans cette section, nous nous tournons vers les facteurs qui différencient les usagers. Puisqu'il est possible de distinguer les usagers suivant plusieurs dimensions, il n'est pas surprenant que les recherches dans ce domaine présentent une certaine hétérogénéité. Nous avons regroupé les recherches en fonction des différentes dimensions qui ont été considérées. Certaines de ces dimensions permettent de classifier les usagers de façon relativement stable en ce sens que les usagers, une fois classés, sont peu susceptibles de changer de catégorie avec le temps. Il en est ainsi, par exemple, des habiletés cognitives des usagers telles les différentes habiletés verbales et spatiales qui sont conçues comme étant fixes chez les sujets adultes. Par contre, il en va autrement de l'expertise spécifique à une tâche donnée : avec l'expérience, il est probable qu'un usager novice change de catégorie et devienne expert. Cette section est organisée de façon à suivre un gradient dans la stabilité des dimensions considérées, partant des plus stables et allant vers les plus dynamiques.

Les habiletés cognitives

Parmi les chercheurs qui ont examiné les habiletés cognitives des usagers, certains se sont penchés sur une seule habileté alors que d'autres ont tenté d'évaluer l'importance relative de différentes habiletés sur la performance des sujets. L'étude de Roemer et Chapanis (1982), portant sur les habiletés de lecture, constitue un bon exemple du premier type de recherche. Ces auteurs ont cherché à savoir si cette habileté a une influence sur l'apprentissage d'un système de traitement de texte. Les sujets participant à cette étude ont donc été classés en trois groupes suivant que leur habileté en lecture était faible, moyenne ou forte. Trois manuels différents ont été utilisés pour l'enseignement, ces manuels représentant des niveaux de complexité d'écriture allant de la cinquième année scolaire à la quinzième. En général, les lecteurs faibles ont pris davantage de temps pour terminer le manuel qui leur avait été assigné et ils ont fait plus d'erreurs dans les exercices pratiques ainsi que lors du test de compréhension.

Par contre, le niveau de complexité du manuel n'a eu aucun effet sur les variables dépendantes envisagées, ce qui rend les résultats un peu suspects.

Les travaux de l'équipe de Egan et Gomez aux laboratoires Bell ont aussi porté sur l'apprentissage du traitement de texte. Toutefois, ces auteurs ont considéré différents types d'habiletés. Les résultats d'une première étude (Egan, Bowers et Gomez, 1982) ont montré qu'outre les habiletés de lecture, les habiletés spatiales et l'âge des sujets influaient aussi sur l'apprentissage. Dans cette étude, les sujets devaient apprendre à utiliser un éditeur de lignes (ED). Une seconde étude (Egan, Gomez, Wheeler, Sharma et Gruchacz, 1983) a porté sur l'apprentissage d'un éditeur plein écran (TED). Les habiletés spatiales sont demeurées un facteur prépondérant dans cette seconde étude, mais il s'est avéré que l'âge des sujets avait une influence moindre que dans l'étude antérieure. Selon les auteurs, ces différentes habiletés affectent différemment les composantes de la tâche de traitement de texte. Alors que les habiletés spatiales seraient requises pour localiser l'information pertinente sur l'écran, le facteur âge serait lié à la complexité des commandes à effectuer. L'influence réduite de l'âge dans la seconde expérience serait ainsi attribuable au fait que l'éditeur TED présente une structure de commandes plus simple, ce qui diminue le fardeau cognitif des personnes âgées.

L'approche suivie par Egan et Gomez (1984) dans leurs travaux plus récents s'appuie aussi sur une analyse des tâches en leurs composantes. Cette approche se différencie des études basées sur des mesures globales de performance en ce qu'elle permet de déterminer les habiletés cognitives requises par chaque composante. Les résultats ainsi obtenus présentent une certaine généralité puisque certaines composantes peuvent se retrouver dans d'autres tâches. Tel n'est pas le cas des études basées sur des mesures globales de performance : les résultats de telles études sont nécessairement limités à une seule tâche, toute tâche étant unique lorsque considérée dans sa totalité. Dans la mesure où la nature des tâches est contrainte par l'état actuel de la technologie, les résultats obtenus dans ces études risquent aussi d'avoir une validité bien temporaire. En somme, une approche basée sur une analyse «componentielle» des tâches nous semble plus susceptible de fournir des résultats importants en ce qui concerne les

habiletés cognitives requises de la part des usagers. Malheureusement cette approche, qui est inspirée des travaux de R. Sternberg en psychologie cognitive différentielle, n'a encore été appliquée en ergonomie cognitive qu'au traitement de texte et, même dans un cadre aussi restreint, les recherches n'ont porté que sur la phase d'apprentissage.

Les styles cognitifs

Le style cognitif d'un individu caractérise sa façon générale d'aborder le monde environnant. Comme les habiletés cognitives, le style cognitif est censé constituer une caractéristique stable de la personnalité. Les styles cognitifs se distinguent toutefois des habiletés cognitives en ce qu'ils ne sont pas affectés par la nature de l'information à traiter. Ainsi, les habiletés d'un individu varieront généralement selon que l'information à traiter est de nature verbale ou spatiale, mais le style cognitif de l'individu restera le même dans les deux cas.

Les classifications basées sur le style cognitif des individus prennent généralement la forme de dichotomies. La distinction la plus connue est sans doute celle qui sépare les individus «indépendants du champ» des individus «dépendants du champ». L'expression «indépendance du champ» a été intialement conçue pour désigner les sujets qui montraient le plus de facilité dans une tâche perceptive consistant à extraire une figure de son contexte. L'expression a toutefois pris un sens plus large dans le contexte éducationnel, où elle est utilisée pour désigner les sujets qui manifestent une tendance à analyser et à structurer l'information présentée, les individus dépendants du champ adoptant une approche plus globale face à l'information nouvelle.

Outre la dépendance du champ, de nombreuses autres distinctions de style cognitif ont été proposées. Ainsi , dans le domaine éducationnel, Pask (1976) a distingué deux styles d'apprentissage : le style «sérialiste» qui, comme son nom l'indique, consiste à procéder par étapes, et le style «holistique» qui consiste à rechercher une compréhension globale. En ce qui concerne la prise de décision, Kagan, Rosman, Day, Albert et Phillips (1964) suggèrent de

distinguer les sujets «impulsifs» des sujets plus «réflexifs». Cette distinction reflète donc la vitesse de prise de décision. Une autre classification proposée par Harvey et ses collègues (Harvey, Hunt et Schroder, 1961) dépend plutôt de la quantité d'information qui est prise en considération par les sujets. En ce qui concerne l'intelligence, Guilford (1967) a distingué deux modes de pensé : la *pensée convergente* et la *pensée divergente*. Certains neuropsychologues parlent plutôt d'hémisphères cérébraux; et la liste pourrait s'étendre encore.

Un tel foisonnement de classifications semble assez difficilement conciliable avec le concept de style cognitif. Comme nous l'avons déjà mentionné, le style cognitif est censé constituer une caractéristique générale de la personne. Or, si chacune des classifications qui ont été proposées repose sur des propriétés psychologiques différentes, aucune de ces propriétés ne constitue une caractéristique vraiment générale de la personne. À l'opposé, il est possible que les différentes classifications se réfèrent aux mêmes propriétés, mais sous des noms différents. Dans ce cas, les individus dits indépendants du champ seraient aussi, par définition, sérialistes, réflexifs, convergents, etc., alors que les individus dépendants du champ seraient holistiques, impulsifs, divergents, etc.

S'il est vrai que le style cognitif représente une façon générale d'interagir avec le monde environnant, alors le style cognitif sera probablement aussi un facteur déterminant des rapports avec les outils technologiques. L'équipe de Van der Veer aux Pays-Bas est sans doute celle qui a accordé le plus d'attention au rôle des styles cogntifs dans les interactions humain-ordinateur. Certains des travaux émanant de cette équipe sont de nature un peu spéculative. Il en est ainsi, par exemple, de l'article de Van der Veer, Tauber, Waern et Van Muylijk (1985). Se basant sur les travaux de Moran (1981b), les auteurs distinguent différents niveaux d'interaction avec l'ordinateur et discutent de l'influence que peuvent avoir les caractéristiques de l'usager sur chacun de ces niveaux. D'autres travaux sont de nature plus empirique. Van der Veer et Beishuizen (1986), par exemple, ont tenté de montrer l'importance de la distinction proposée par Pask entre les modes d'apprentissage sérialistes et holistiques (aussi appelés *apprentissage par opération* et *apprentissage par compréhension*). Cette

distinction ne s'est avérée importante que dans certaines des tâches utilisées. De Leeuw (1983) s'est plutôt intéressé à la distinction opposant dépendance et indépendance du champ. Il a montré que les usagers dits indépendants du champ opéraient plus facilement le transfert d'un système informatique à un autre. L'étude de Egly et Westcourt (1982), effectuée aux États-Unis, a montré que cette même propriété affectait aussi la façon dont les sujets interrogent une banque de données.

Ces résultats suggèrent que les styles cognitifs sont un facteur déterminant des interactions humain-ordinateur. Cette conclusion présente toutefois les mêmes ambiguïtés qui caractérisent le domaine des recherches sur les styles cognitifs. D'une part, les études ne sont généralement basées que sur une seule classification, de sorte qu'il est difficile de savoir si cette classification est plus importante que les autres, ni même en quoi elle diffère des autres. D'autre part, le nombre de tâches considérées est généralement très limité. Or, comme nous l'avons mentionné, le style cognitif d'un individu est censé être une caractérisitique stable qui devrait se manifester de façon relativement invariante dans plusieurs tâches. Certaines études citées dans la revue générale du domaine faite par Robertson (1985) montrent que tel n'est pas toujours le cas. Les études de Hudson (1968), par exemple, suggèrent qu'un même sujet peut adopter un mode de pensée convergent ou divergent presque sur demande, et une expérience de Webster et Walker (1981) a montré que le mode de pensée adopté par les sujets était aussi influencé par la nature des items du test auquel les sujets étaient soumis. Si différents styles cognitifs se manifestent dans différentes tâches, alors il devient très difficile de distinguer les styles des habilités cognitives ou même les stratégies adoptées par les sujets.

En somme, le concept de style cognitif souffre encore de trop d'imprécision, selon nous, pour être d'une réelle utilité dans la conception d'interfaces mieux adaptées aux différents usagers.

Les occupations professionnelles

Les classifications décrites dans les sections précédentes se veulent basées sur des différences psychologiques fondamentales entre les individus. Les travaux en ergonomie reflètent une approche plus pragmatique à la question des différences individuelles, les problèmes envisagés concernant surtout la nature des emplois occupés par les individus et leur niveau d'expertise. Borgman (1984) mentionne qu'un rapport récent du «US National Research Council» portant sur les interactions humain-ordinateur relève non moins de 17 classifications différentes basées sur le degré d'expertise en matière d'informatique, 9 autres classifications étant basées sur les emplois.

Bien que le commentaire de Borgman reflète la diversité des recherches, il n'est pas tout à fait juste. Plutôt que de viser à classifier les différents types d'usagers des systèmes informatisés, la plupart des recherches citées dans le rapport ne portent que sur un groupe cible d'usagers. En ce qui concerne les emplois, le groupe d'usagers le plus souvent visé par les recherches est celui constitué des techniciens, programmeurs et analystes. La distinction prédominante est donc celle qui sépare les personnes oeuvrant dans le domaine de l'informatique des personnes oeuvrant dans d'autres domaines. Cette distinction reflète autant une différence d'expertise, qui sera traitée dans la prochaine section, qu'une différence d'emplois. Hormis les emplois en informatique, ceux qui ont reçu le plus d'attention se trouvent dans le domaine de l'administration et de la gestion.

Schoichet (1981, dans Nickerson,1986) a distingué trois catégories d'emplois différents. Se basant sur la nature des tâches effectuées, il a tenté de spécifier les caractéristiques que devraient présenter des postes de travail adaptés à chacune de ces catégories. Ainsi, un premier type de poste de travail, appelé *fonctionnel*, serait destiné à servir principalement aux commis de bureau, assistants et secrétaires. Ces postes devraient être conçus de façon à faciliter les fonctions d'entrée de données, d'archivage et de traitement de texte qui caractérisent ces emplois. Des postes de travail d'un type différent sont requis par certains professionnels qui font un usage intensif des ordinateurs tels les ingénieurs, les

courtiers en valeurs, les agents de prêts etc. Selon Schoichet, les postes de travail destinés à ces professionnels devraient comporter, entre autres choses, un écran à haute résolution ainsi que des capacités de stockage considérables et devraient être reliés à un bon réseau de communication locale. Cette dernière exigence s'applique aussi aux postes de travail du troisième type destinés aux administrateurs, des statistiques montrant que 75 % du temps de travail de certains d'entre eux est voué à des fonctions de communication.

Il est difficile de spécifier les autres propriétés que devraient avoir les postes de travail destinés aux administrateurs puisque ce groupe d'usagers est assez hétérogène. Ainsi, les cadres de niveau supérieur passent beaucoup plus de temps que les cadres inférieurs à des fonctions de planification. Rockart et Treacy (1982, dans Nickerson, 1986) utilisent l'expression «executive information support» pour désigner les postes de travail requis par les cadres supérieurs. En plus de donner accès aux données concernant l'entreprise et le marché, ces postes de travail devraient aussi, selon Rockart et Treacy, comporter des systèmes facilitant l'analyse de ces données et la prise de décision.

La nature des tâches à effectuer n'est pas la seule caractéristique qui distingue les différentes professions entre elles. Eason, Damodaran et Stewart (1975; Damodaran 1981; Eason, 1981; Stewart, 1981) notent que la capacité et la volonté de s'adapter aux nouvelles technologies varient aussi beaucoup d'un groupe d'usagers à l'autre. Ainsi, les cadres ont généralement le choix de faire usage ou non des outils technologiques, ce qui n'est pas le cas des employés de bureau qui doivent souvent s'adapter sous peine de perdre leur emploi. Ces derniers doivent donc apprendre les techniques nécessaires à leur travail. Par contre, les cadres peuvent déléguer les tâches complexes à des subalternes, qui serviront ainsi d'intermédiaires face aux systèmes informatiques. Cette solution n'est pas toujours idéale puisque, comme le mentionnent Eason et ses collègues, le cadre peut ignorer certaines capacités du système et donc s'en priver. Nous voilà donc encore une fois face au problème de l'expertise.

L'expertise en informatique

Le problème de l'expertise en informatique s'est posé de différentes façons depuis l'invention de l'ordinateur. Au début, l'utilisation des ordinateurs était réservée aux seuls spécialistes. La question de l'expertise ne concernait donc que l'apprentissage des métiers directement liés à l'informatique. Avec la baisse des coûts et l'avènement de la mini-informatique, la population des usagers s'est élargie de façon à inclure divers groupes de professionnels. Quoique n'étant pas spécialistes en informatique, ces nouveaux usagers avaient une formation générale assez avancée pour leur permettre de se familiariser, mais non sans difficulté, avec les techniques de base. Aujourd'hui, c'est la population en général qui est visée par la micro-informatique. Ce sont donc les personnes sans aucune connaissance en informatique qui retiennent l'attention aujourd'hui, ces personnes étant désignées par le terme de *novices*.

L'apprentissage. Les premières questions qui se posent en ce qui concerne les novices concernent l'apprentissage. Qu'est-ce que les novices doivent savoir pour pouvoir utiliser efficacement les systèmes informatiques et comment doit-on leur enseigner? Bien que les questions relatives à l'apprentissage débordaient du cadre de l'ergonomie traditionnelle, elles sont devenues très difficiles à esquiver compte tenu de la complexité des technologies informatiques.

Certains, dont Anderson (1980), considèrent que, pour pouvoir tirer un profit maximal des outils informatiques, les usagers devraient connaître la programmation. Ce point de vue soulève le problème du langage le mieux adapté à l'initiation des usagers à la programmation. Il est bien connu que les programmeurs ont des préférences marquées en ce qui concerne les langages. Il n'est donc pas étonnant que ces préférences se reflètent dans les débats sur l'enseignement de la programmation. Tagg (1974) a passé en revue les différents langages proposés et a conclu qu'aucun d'entre eux n'était idéalement adapté à l'enseignement. Du Boulay, Oshea et Monk (1981) ont proposé que l'apprentissage de la programmation se

fasse à l'aide d'un système de notation simple. D'autres auteurs tentent plutôt d'informatiser l'enseignement de langages de programmation d'usage courant tels que LISP et PASCAL.

La programmation constitue une activité cognitive très complexe. Malgré cela, certains prétendent que, dans l'avenir, tous les usagers des technologies informatiques auront acquis des compétences dans le domaine. Cette croyance s'appuie sur le fait que plusieurs programmes éducationnels comprennent déjà des cours de programmation, alors que les technologies informatiques commencent à peine à être intégrées dans différentes sphères d'activité. Compte tenu de la place croissante qu'occuperont ces technologies, cette tendance éducationnelle ne peut que s'accroître, de sorte que les usagers futurs ne seront plus naïfs en la matière. Une telle opinion n'est évidemment pas partagée par tous les chercheurs dans le domaine. James (1981) croit au contraire que c'est le nombre d'usagers sans connaissances préalables en informatique qui ira s'accroissant. La complexité des systèmes informatiques est déjà si grande que l'on ne peut s'attendre à ce que tous les usagers puissent consentir les efforts requis pour se familiariser avec ces technologies. James (1981) propose même de développer une interface qui «protégerait» l'usager des complexités du système utilisé en traduisant les demandes de l'usager dans le langage du système. L'apprentissage requis dans un tel cas se limiterait à la connaissance de l'interface, qui serait elle-même conçue de façon à être facilement compréhensible.

Malheureusement, la situation souhaitée par James n'est pas encore concrètement réalisée. Sans devoir nécessairement connaître la programmation, les usagers doivent toutefois apprendre à manipuler les diverses fonctions du logiciel d'application qu'ils désirent utiliser en plus de l'interface du système. Or cet apprentissage présente de nombreuses difficultés même lorsqu'il porte sur des logiciels relativement simples tels que les logiciels de traitement de texte, par exemple.

Une source de difficulté provient des analogies que les sujets établissent entre la situation nouvelle qui fait l'objet de l'apprentissage et d'autres situations déjà connues. Ainsi, Douglas et Moran (1983) ont noté que plusieurs erreurs dans l'édition de texte proviennent de

ressemblances superficielles avec une situation de transcription dactylographique simple. Il faut donc remplacer le modèle mental que les novices appliquent à la situation par un modèle plus approprié. Les études de Mack et ses collègues (Carroll et Mack, 1983; Lewis et Mack, 1982) ont mis en relief les avantages de l'apprentissage basé sur un modèle approprié en comparaison avec l'apprentissage basé sur la stricte mémorisation des commandes. En plus de corriger les conceptions souvent erronées des novices, le modèle permet de structurer les connaissances nouvelles.

Il semble toutefois que l'avantage d'un apprentissage par modèle soit limité à des tâches qui requièrent une certaine dose de raisonnement. Les résultats de Borgman (1984) et de Halasz (voir Halasz et Moran, 1982, 1983) suggèrent que l'apprentissage par mémorisation est aussi efficace pour les tâches simples et routinières. Il est possible que l'utilité des modèles pour l'apprentissage soit aussi relative au style cogntif des sujets mais, à notre connaissance, aucune étude n'a encore été faite sur cette question dans le domaine des interactions humain-ordinateur.

Le rôle des modèles mentaux constitue un thème de recherche très actif en science cognitive, et de nombreux problèmes demeurent sans solution. Ainsi, les modèles présentés aux novices doivent être relativement simples pour être compris. Par ailleurs, ils doivent aussi être suffisamment flexibles pour permettre aux novices de progresser et d'intégrer des connaissances nouvelles au fur et à mesure que leur compétence augmente. Un autre problème est celui du transfert des connaissances. Les modèles utilisés pour l'apprentissage d'un système donné ne doivent pas faire obstacle à la familiarisation avec un autre système. Certains auteurs croient qu'aucun modèle ne peut présenter des propriétés idéales sur tous les plans, de sorte qu'ils préfèrent utiliser le terme de métaphore plutôt que de modèle.

Les attitudes. Le niveau de compétence n'est pas le seul aspect qui différencie les novices des experts. Ces deux groupes d'usagers auront aussi des attitudes très différentes envers les ordinateurs. Alors que des experts tenteront n'importe quoi ou presque pour obtenir les résultats voulus, les novices hésitent parfois à presser sur une touche du clavier. Une

anecdote peut illustrer le problème. Après avoir reçu livraison de son premier ordinateur, le directeur d'un département de l'Université de Montréal s'est empressé de le brancher et d'insérer la disquette d'instructions. Le premier message envoyé par l'ordinateur était illustré avec l'image d'une bombe. Il s'est avéré que l'ordinateur était défectueux, mais cela n'a pas empêché cette personne d'hésiter pendant quelques mois avant d'essayer d'utiliser la machine à nouveau. Pourtant, il s'agissait d'un ordinateur dont la publicité vante la facilité d'opération et la convivialité. Certains auteurs (Kennedy, 1975; Shneiderman, 1979) insistent donc pour que l'apprentissage ne serve pas uniquement une fonction d'acquisition de connaissances mais qu'il influe aussi de façon positive sur les attitudes des nouveaux usagers.

L'interface. Les exigences des experts face à un système informatique sont en opposition quasi constante avec les besoins des novices. Cette opposition découle du fait que les experts exigent surtout de la puissance de la part des systèmes, alors que les novices ont besoin de simplicité.

Ainsi, par exemple, les menus sont généralement considérés comme un mode d'interface plus simple que des commandes. Une étude de Gilfoil (1982) montre que les novices préfèrent effectivement utiliser les menus. Toutefois, cette même étude montre qu'avec l'expérience, les usagers en viennent à utiliser davantage les commandes. En ce qui concerne les langages de commande, Ledgard, Whiteside, Seymour et Singer (1980) ont comparé deux systèmes différents, l'un étant basé sur une notation formelle et l'autre se rapprochant davantage de la langue naturelle des usagers. La performance des novices fut meilleure avec le deuxième système.

Quel que soit le système utilisé, les novices sont susceptibles de faire plus d'erreurs que les experts. Selon Shneiderman (1980b), les messages d'erreur envoyés par l'ordinateur devraient aussi être adaptés au niveau d'expertise des usagers. Les messages cryptiques destinés aux experts sont trop souvent incompréhensibles pour les novices. Shneiderman propose donc que les messages destinés aux novices soient plus explicatifs et qu'ils fournissent à l'usager une liste des actions possibles à entreprendre.

Les besoins des novices diffèrent des exigences des experts à plusieurs autres niveaux encore. Paxton et Turner (1984) fournissent une liste de recommandations susceptibles de faciliter la tâche des novices. Or, plusieurs des mesures proposées peuvent s'avérer très fastidieuses pour l'usager expert et ne représenter qu'une perte de temps et d'espace sur l'écran. Ce conflit ne serait pas problématique si les experts et les novices utilisaient toujours des systèmes différents. Tel ne peut évidemment pas être le cas. Avec le temps, l'usager novice deviendra de plus en plus «familier» avec le système utilisé, à moins évidemment qu'il ne demeure un usager «occasionnel». Pour tenter de rendre compte de cette évolution, certains auteurs se sont penchés sur des catégories d'usagers intermédiares entre les «novices» et les «experts». Mais de telles classifications constituent une approche essentiellement statique qui sied mal au caractère essentiellement dynamique des transformations qui s'opèrent chez l'usager à mesure qu'il acquiert plus d'expertise.

Dans les pages qui précèdent, nous avons brièvement passé en revue différentes façons de regrouper les usagers. Nous avons aussi vu certains problèmes liés à ces classifications, tel leur aspect statique et ambigu. À cause de ces problèmes, les personnes chargées de la conception de nouveaux systèmes se montrent souvent réticentes à fonder leurs décisions sur ces classifications. Cette réticence a été exprimée avec force lors d'un débat sur la question qui eut lieu dans le cadre de la conférence CHI'86. Pour certains des participants à ce débat, les systèmes informatiques doivent viser à répondre aux besoins de chaque usager individuel plutôt qu'être basés sur les caractéristiques nécessairement trop générales de groupes d'individus.

4.3 L'usager individuel

Une façon de créer des systèmes adaptés à chaque usager est donc de créer des systèmes capables de s'adapter eux-mêmes à l'usager. Pour ce faire, le système doit avoir une

connaissance ou un modèle de l'usager. Rich (1983) propose de distinguer les différents modèles de l'usager en fonction de trois grandes dimensions. La première dimension va des modèles canoniques aux modèles individuels. La seconde dimension oppose les modèles qui se développent de façon implicite, en interaction avec l'usager, aux modèles explicitement définis par le concepteur du système ou par l'usager qui doit alors fournir des paramètres au système. Enfin, la troisième dimension dépend des caractéristiques de l'usager qui sont incorporées dans le modèle : certains modèles (à long terme) ne tiennent compte que des caractéristiques stables de l'usager, alors que d'autres (à court terme) sont centrés sur des caractéristiques de l'usager qui peuvent changer en cours d'interaction.

Ces trois dimensions ne sont pas orthogonales les unes aux autres, ni indépendantes des thèmes abordés dans les différentes sections de ce chapitre. Ainsi, par exemple, un modèle de l'usager type ne peut être que canonique, par définition. Il sera probablement explicite et à long terme. Un exemple de ce type de modèle est le programme ZOG developpé par Robertson, McCracken et Newell (1981) pour faciliter les communications humain-ordinateur. Les modèles explicites et à long terme sont aussi appropriés pour représenter des groupes d'usagers. En ce qui concerne les usagers individuels, seuls les modèles à long terme peuvent être définis de façon explicite. En effet, un système peut aisément s'enquérir auprès de l'usager de son âge, de son niveau d'éducation et d'autres caractéristiques assez stables de sa personnalité. Par contre, les usagers trouveront beaucoup moins acceptable d'interrompre constamment leur tâche pour spécifier de façon explicite au système le but qu'ils sont occupés à poursuivre. Les modèles à court terme doivent donc être implicites : les buts poursuivis et les connaissances de l'usager doivent être inférés par le système.

Ce sont précisément les modèles à court terme qui sont les plus susceptibles de faciliter les interactions humain-ordinateur. Connaissant le but poursuivi par l'usager, le système peut non seulement détecter les méthodes erronées de l'usager mais aussi, dans le cas de méthodes correctes, en enseigner d'autres plus efficaces que celle utilisée. Ce type

d'enseignement personnalisé, souvent désigné par l'expression «embedded tutoring», se distingue des modes d'enseignement plus traditionnels en ce qu'il est dispensé au moment où l'usager en manifeste le besoin.

Malheureusement, le problème de l'inférence des buts et des connaissances à partir des actions est l'un des problèmes les plus complexes en science cognitive. En ce qui concerne les buts, Perrault et ses collègues (Cohen et Perreault, 1979) ont développé un système qui réussit modérément bien à inférer les intentions qui se cachent derrière (ou se révèlent à travers) les énoncés d'un interlocuteur. Ces travaux sont basés, d'une part, sur les théories de Searle (1969) et Grice (1975) pour ce qui est du langage et, d'autre part, sur les recherches séminales de Newell et Simon (1972) pour ce qui est de la structure des buts. D'autres travaux pertinents sur la planification sont ceux de Sacerdoti (1977). En ce qui concerne l'inférence des connaissances, certains travaux portent sur des connaissances spécifiques à un domaine précis. Ce type de recherche est amplement illustré dans le livre sur les systèmes tuteurs de Sleeman et Brown (1982). D'autres travaux visent plutôt à spécifier des méthodes générales d'inférence des connaissances. Citons à titre d'exemple de ce type de recherche l'article récent de Doignon et Falmagne (1985). Même si les recherches mentionnées dans ce paragraphe sont de nature plutôt fondamentale et ne portent pas directement sur les interactions humain-ordinateur, des travaux visant de telles applications sont actuellement en cours dans plusieurs institutions.

Chapitre 5

La tâche

Troisième composante du système usager-ordinateur, la tâche est omniprésente puisque, comme nous l'avons souligné plus tôt, elle est la raison d'être de l'interaction. Elle semble cependant demeurer le parent pauvre des études ergonomiques. Bien sûr, toutes les études empiriques sont effectuées dans le contexte d'une tâche particulière à effectuer. Mais on porte en général plus d'attention aux caractéristiques du système de commandes et du mode de dialogue qu'à la tâche elle-même, telle qu'elle est conçue par l'usager. La question est en général posée de la sorte : étant donnée la tâche X et une classe d'usagers Y plus ou moins bien définie, quelles sont les caractéristiques de l'interface du système qui favoriseront une interaction efficace? On s'intéresse encore peu à ce qui caractérise les tâches les unes par rapport aux autres du point de vue 1) de la structure de résolution de problèmes et 2) d'exigences ergonomiques. La question est toutefois cruciale pour qui veut estimer la généralité des résultats et des modèles ergonomiques, particulièrement dans le contexte des systèmes intégrés où l'usager est amené à effectuer concurremment plusieurs tâches (Miyata et Norman, 1986).

Un obstacle de taille attend toutefois les chercheurs : personne n'a encore pu obtenir un consensus sur une taxonomie des tâches qui en permette l'analyse, bien que cela soit perçu depuis longtemps comme une étape nécessaire, comme le soulignaient déjà Melton et Briggs en 1960 :

> "a taxonomy of tasks (...) is a necessary condition for systematic and confident application of engineering psychology principles to decisions regarding alternative system designs involving different human functions." (Melton et Briggs, 1960, p. 90)

Companion et Corso (1982) présentent un relevé des études ayant tenté d'effectuer une classification des tâches dans le contexte général de l'interaction humain-

ordinateur. Ils procèdent ensuite à l'évaluation des cinq grandes taxonomies relevées en fonction de 11 critères d'efficacité qu'ils ont eux-mêmes formulés. Aucune des taxonomies n'ayant satisfait à plus de 8 critères, Companion et Corso concluent qu'aucun schème classificatoire n'existe encore qui puisse intégrer en un outil vraiment utile les données sur la performance humaine recueillies jusqu'à présent.

Faute de posséder un tel outil d'analyse, nous avons proposé les trois dimensions illustrées dans le modèle présenté au chapitre 2 (voir figure 2) : variations du domaine de la tâche, de sa complexité et de la structure du langage d'opération. Ces trois sources de variation ne sauraient en aucun cas constituer un véritable schème classificatoire, puisqu'il ne s'agit pas d'un continuum unidimensionnel, ni même de trois dimensions mutuellement indépendantes.

Cette distinction nous est simplement apparue comme un moyen commode de présenter les différentes facettes suivant lesquelles on peut aborder le problème de la tâche. Dans les pages qui suivent, nous n'aborderons explicitement que la dimension du domaine de la tâche; les problèmes de la complexité et de la structure des langages d'opération ne feront pas l'objet de sections séparées, mais seront abordés à l'intérieur de chacun des domaines présentés.

Le domaine de la tâche

Traitement de texte, consultation de banques de données, messagerie, manipulation graphique, contrôle de processus, programmation, etc. : voilà autant de domaines qui exigent des formes d'interaction qui leur soient adaptées. Cette classification suivant la nature de la tâche n'a rien de bien scientifique, mais c'est en général de cette façon que les usagers conçoivent les différentes applications, et c'est ainsi que sont mis en marché les logiciels. Il est clair que les activités de l'usager peuvent se recouper beaucoup d'un domaine à l'autre : par exemple, le traitement de texte, la messagerie et la programmation comportent tous

trois une bonne part d'entrée et de manipulation d'information textuelle. Mais chaque domaine exige certaines habiletés particulières, qui engendrent des problèmes spécifiques.

Nous présenterons dans cette section certaines des recherches qui ont été effectuées dans quelques-uns de ces domaines de tâche, en insistant particulièrement sur les principales tâches de bureautique : traitement de texte, banque de données et messagerie.

5.1 Le traitement de texte

Le traitement ou l'édition de texte est sans doute la tâche qui a donné lieu au plus grand nombre de travaux, ce qui ne saurait surprendre puisqu'elle est, et de loin, l'application la plus répandue et la plus utilisée. C'est aussi la tâche dont le bassin d'usagers potentiels est le plus large, et c'est pourquoi on s'est particulièrement intéressé aux variables déterminant la **facilité d'apprentissage**. Douglas (1983), s'inspirant du modèle de Moran (1981b), montre que l'affichage plein écran, des noms de commandes mnémoniques, le recours à l'insertion comme commande de défaut (voir aussi Poller et Garter, 1983) et l'utilisation d'une souris et de touches de fonctions sont des caractéristiques qui réduisent la complexité conceptuelle de l'éditeur et en facilitent l'apprentissage. Ces résultats confirment entre autres les nombreuses études portant sur la mnémonicité des commandes comme facteur clé de l'apprentissage (Barnard *et al.*, 1982; Black et Moran, 1982; John, Rosenbloom et Newell, 1985; Mack, 1985; Scapin, 1981; Rosenberg, 1982, 1983).

On s'est aussi intéressé aux **méthodes d'apprentissage** : Lewis et Mack (1982), après avoir analysé les protocoles de sujets en situation d'apprentissage autonome, concluent que l'auto-apprentissage ne saurait être une méthode productive compte tenu de la complexité de la tâche et de la quasi-impossibilité pour le concepteur de fournir une documentation qui prévoie toutes les situations possibles. Ayant observé que les usagers novices ont souvent recours aux analogies tirées de leur connaissance de la machine à écrire,

Douglas et Moran (1983) montrent que cet apprentissage par analogie comporte des avantages et des dangers, mais qu'il est possible de prédire et parfois de prévenir les erreurs qu'entraîne souvent cette méthode (voir aussi Allwood, Eliasson et Wikstrom, 1986; Galambos, Wikler et Black, 1983; Halasz et Moran, 1982). Ross et Moran (1983) montrent l'efficacité d'un apprentissage fondé non pas sur l'analogie avec la machine à écrire, mais sur l'analogie entre le problème à résoudre et les problèmes résolus antérieurement par l'usager.

Carroll et Mack (1983) soutiennent que l'usager novice n'est pas un apprenti passif et qu'il procède au contraire de façon active en expérimentant et en produisant lui-même des inférences quant au matériel à apprendre. Ils suggèrent donc que l'on fournisse à l'usager un cadre conceptuel à l'apprentissage, de même qu'un environnement qui favorise l'exploration et l'apprentissage par l'exercice. Ces prescriptions quant à un apprentissage conceptuel et actif seront adoptées par Bourdeau (1986), qui en démontre l'efficacité relative.

D'autres recherches se sont tournées vers les variables liées aux **caractéristiques de l'usager**. Egan *et al.* (1982) montrent que la vitesse d'apprentissage dépend entre autres de l'habileté de lecture, de la capacité de mémorisation spatiale et des facteurs qui covarient avec l'âge. Poursuivant la recherche précédente, Egan *et al.* (1983) soulignent toutefois l'interaction entre les caractéristiques des usagers et de l'éditeur. Par exemple, comme nous l'avons déjà souligné, l'effet de l'âge semble nettement atténué lorsqu'il s'agit d'apprendre un éditeur plein écran plutôt qu'un éditeur de lignes. Enfin Tyler, Roth et Post (1982) de même que Rosson (1983) montrent que l'apprentissage n'est que très rarement complet et que même ceux qu'on peut qualifier d'usagers experts ne parviennent qu'exceptionnellement à maîtriser vraiment l'ensemble des fonctions. C'est en partie pourquoi plusieurs études, dont celles de Foss, Rosson et Smith (1982), de Holt, Boehm-Davis et Schultz (1986) et de Magers (1983) se sont penchées sur le problème de la **documentation** et des systèmes d'aide pour favoriser et maintenir l'apprentissage, de même que sur les messages d'erreur.

Plus récemment, on s'est interrogé sur la **transférabilité des apprentissages** d'un logiciel de traitement de texte à un autre. Karat, Boyes, Weisgerber et Schafer (1986) montrent que si l'on peut transférer l'apprentissage des concepts généraux, on constate de l'interférence proactive en ce qui a trait à la syntaxe des fonctions, qui varie passablement d'un logiciel à l'autre. Ziegler, Hoppe et Fahnrich (1986) étudient quant à eux le transfert du traitement de texte à la manipulation graphique et constatent qu'on transfère mieux l'apprentissage du texte au graphique que l'inverse. Il est cependant douteux que cette conclusion puisse être généralisée sans autre vérification.

Depuis quelques années, plusieurs centaines de logiciels de traitement ou d'édition de texte ont été introduits sur le marché. Il aurait donc semblé normal qu'on fasse une **évaluation comparée** des différents produits offerts qui aille au-delà des listes comparatives de caractéristiques qu'on retrouve à profusion dans les revues populaires et dans les "guides d'utilisation". Malgré l'utilité évidente d'un tel exercice, seuls Roberts et Moran (1982, 1983; Roberts, 1979) ont entrepris de comparer systématiquement plusieurs éditeurs. Roberts (1979) analyse tout d'abord les éditeurs et dresse une liste des 212 sous-tâches qu'il est possible d'effectuer sur un document. À partir de cette taxonomie, elle calcule la fonctionnalité de chaque éditeur en faisant le rapport <tâches exécutables par l'éditeur> / <ensemble des 212 tâches possibles>. Aucun éditeur n'atteint une fonctionnalité de plus de 77 %, et la moyenne est de 54 %. Roberts retient 53 sous-tâches de base, communes aux neufs éditeurs à l'étude, qui sont ensuite utilisées pour comparer ces éditeurs du point de vue de la vitesse d'apprentissage, du temps d'exécution et du pourcentage de temps consacré à réparer des erreurs. Les différences entre éditeurs s'avèrent très marquées, la vitesse d'apprentissage variant du simple au quadruple, la vitesse d'exécution variant d'un facteur de 2,5 et les erreurs, d'un facteur de 5.

Borenstein (1985) utilise le banc d'essai de Roberts et Moran pour évaluer deux autres éditeurs et revalider leur test et trouve des résultats similaires. Il souligne cependant certains problèmes inhérents à ce banc d'essai et critique en particulier la définition de l'usager

expert qui est fondée seulement sur le temps cumulatif d'utilisation et non sur une expertise directement mesurable.

Les travaux de Roberts et Moran ont fait date dans le domaine, car ils ont constitué le premier instrument tangible et standardisé pour évaluer concrètement des logiciels de traitement de texte. Le test a cependant des limites. En premier lieu, l'instrument ne peut être utilisé qu'a posteriori, c'est-à-dire lorsqu'un éditeur est suffisamment répandu pour que l'on puisse trouver des usagers experts. Il ne saurait donc servir lors de la phase du design, sinon pour prévoir la fonctionnalité. En second lieu, la taxonomie des «tâches possibles» n'est pas absolue et reflète, comme le souligne Borenstein (1985), l'environnement dans lequel travaillent les gens qui l'ont développée. Enfin, la validité du test tend à diminuer avec le temps, au fur et à mesure qu'évoluent les capacités des éditeurs. La méthode devrait donc être périodiquement remise à jour, ce qui est une difficulté inévitable dans le contexte d'une technologie en constante évolution. Il est d'ailleurs remarquable que personne n'ait, à ce jour, entrepris d'évaluer de cette façon les éditeurs plus récents.

Une autre approche intéressante consiste à analyser le **comportement de rédacteurs** en situation réelle, comme l'ont fait Embley et Nagy (1982). Hoffman, Ziessler et Seifert (1986) examinent les problèmes qui se posent quand il s'agit de remplir des formulaires. On notera aussi les études de Allen (1981, 1982a) et celle de Gould (1980, 1981) sur la composition et la révision de manuscrits. Il est clair que beaucoup d'usagers tendent maintenant à composer leurs textes directement au clavier et que cette activité mériterait plus d'attention.

Mais les travaux les plus intéressants du point de vue théorique (et sans doute les plus prometteurs, à plus long terme, sur le plan pratique) sont ceux qui tentent de formuler des **modèles plus généraux** de la représentation de la tâche chez l'usager. Depuis Oren (1974), qui propose un modèle purement mathématique de l'édition de texte, plusieurs se sont tournés vers la structure de connaissance et les procédures de résolution de problèmes de l'usager (c'est-à-dire structure de buts ou règles de production). Folley et Williges (1982), par

exemple, montrent que les patterns d'utilisation des commandes reflètent des modèles de la tâche différents chez le novice et l'expert.

Robertson et Black (1983) soutiennent que le comportement d'édition de texte peut et doit être considéré non pas comme une suite linéaire de frappes sur un clavier, mais comme un comportement planifié régi par une hiérarchie de buts. S'appuyant sur la théorie de Schank et Abelson (1977), ils développent et testent un modèle de l'édition comme séquence de plans hiérarchisés, séquence qui se reflète dans le regroupement des frappes faites par l'usager.

Card, Moran et Newell (1983) vont dans le même sens dans un ouvrage majeur résultant de plusieurs années de travail (Card *et al.*, 1976; Card *et al.*, 1980a, 1980b; Card 1982) et dont plusieurs chapitres sont consacrés à l'édition de texte. Nous ne tenterons pas d'exposer ici un travail qui ne saurait être réduit à quelques lignes, mais soulignons qu'ils ont élaboré plusieurs modèles de la tâche du point de vue de la structure de buts, modèles qui varient essentiellement selon le grain de l'analyse. Card *et al.* s'attaquent toutefois à l'édition de texte comme «habileté cognitive routinière» («routine cognitive skill»), ce qui implique que les comportements étudiés sont ceux de sujets experts. Ils font aussi très peu de cas des erreurs. La qualité des analyses de ce groupe de Xerox PARC a fait l'unanimité dans la communauté des chercheurs, mais la difficulté de cette approche «calculatoire» (voir chapitre 1) est telle que très peu se sont risqués à l'étendre à d'autres tâches ou à étudier des situations d'édition plus complexes.

Plus récemment, toutefois, d'autres chercheurs ont poursuivi dans une voie similaire, en représentant la tâche sous forme de système de production. C'est le cas de Polson et Kieras (1985), qui s'appuient sur leur théorie de la complexité (Kieras et Polson, 1985) pour réaliser une simulation qui réussit à prédire la difficulté d'apprentissage et les temps d'exécution. Ziegler, Vosson et Hoppe (1986) se servent eux aussi d'une analyse du point de vue des règles de production pour prédire les transferts d'apprentissage.

Que doit-on conclure de tous ces travaux sur le traitement ou l'édition de texte? La première leçon est sans doute que cette tâche (ou plutôt cet ensemble de tâches et de sous-

tâches) est un phénomène cognitif complexe, dont la compréhension requiert qu'on tienne compte de plusieurs dimensions. C'est ce qui fait l'intérêt du traitement de texte, mais il faut voir qu'il est très ardu de produire des résultats qui soient à la fois généralisables et directement applicables.

En ce sens, le traitement de texte représente bien les autres domaines de tâches, bien que la recherche y ait été nettement plus poussée. On trouve de nombreuses études portant sur des problèmes très spécifiques, mais dont les résultats sont peu généralisables ou très éphémères parce que très liés au système étudié. C'est le cas par exemple d'études comme celle de Schneider, Nudelman et Hirsh-Pasek (1982), qui s'intéressent aux stratégies de numérotation des lignes d'édition, et dont les résultats sont désuets pour presque tous les éditeurs récents, ou celle de Gould, Lewis et Barnes (1985) sur la vitesse de déplacement du curseur, qui ne peut s'appliquer aux interfaces à manipulation directe.

On trouve à l'autre extrême d'excellentes analyses comme celles de Card *et al.* (1983), qui sont plus généralisables mais dont l'application est moins immédiate. Cela dit, il n'y a pas lieu d'être pessimiste : les recherches fouillées sont d'une utilité certaine lorsqu'il s'agit de concevoir et d'évaluer un logiciel particulier, et les études plus théoriques sont en partie responsables des développements récents et à venir de programmes intelligents d'aide à l'usager.

5.2 Les banques de données

Du point de vue de la recherche ergonomique, on peut distinguer le domaine des banques de données de celui de l'édition de texte sous plusieurs dimensions, dont quatre nous apparaissent fondamentales.

La première dimension touche l'étendue du champ d'information concerné. Les logiciels de traitement de texte présentent entre eux plusieurs différences, mais demeurent un

domaine assez homogène. Si on trouvait auparavant des variations assez marquées selon le domaine d'application (éditeur ou formateurs, éditeurs de programmes, etc.), les différents logiciels tendent de nos jours à se ressembler de plus en plus et remplissent des fonctions fondamentalement assez similaires. La recherche peut donc se centrer sur certains problèmes comme la syntaxe des commandes, le mode d'interaction et la construction d'un modèle général de la tâche. comme nous l'avons vu plus haut. Le domaine des banques de données est beaucoup plus hétérogène, et on ne saurait parler des banques d'information comme d'une seule «application» parmi d'autres. En fait, le domaine du stockage et de la récupération de l'information, qui se cache derrière le vocable "banques de données", constitue tout un champ de recherche en informatique. À preuve, s'il existe un groupe d'intérêt de l'ACM (Association for Computing Machinery) pour le domaine de l'interaction humain-ordinateur (SIGCHI), le domaine des banques de données constitue à lui seul un autre groupe d'intérêt (le SIGIR, «Special Interest Group on Information Retrieval»). Du point de vue des applications concrètes, la gamme est très large : banques de données grand public de style videotex, banques bibliographiques, banques de données d'entreprises, systèmes de gestion d'inventaires, systèmes d'aide à la prise de décision, mais aussi bulletins électroniques, agendas et calendriers électroniques, systèmes de gestion de fichiers, etc. Comme on le verra plus loin, il demeure possible de trouver des problématiques générales, mais de très nombreux problèmes resteront liés au contexte d'utilisation, ce qui rend toute synthèse extrêmement difficile.

La seconde dimension qui distingue banques de données et traitement de texte a trait à la nature même de la tâche. Le traitement de texte consiste à entrer et à manipuler de l'information en suivant certaines règles relativement invariantes : il est donc possible, comme l'a fait Roberts (1979) de définir l'univers du traitement de texte avec une certaine précision. C'est ce qui fait aussi que l'usager parvient assez rapidement à maîtriser cette application et que la tâche devient assez vite une habileté cognitive routinière. De plus, *la tâche de traitement de*

texte est relativement indépendante du contenu informationnel manipulé ainsi que de la taille du fichier, sauf pour certaines fonctions de repérage facilement identifiables.

Les problèmes des banques de données sont autres, et ils sont nettement plus complexes : il ne s'agit plus d'entrer de l'information, mais de *l'organiser en une structure qui en facilite la manipulation sélective et la récupération. Or cette structure sera intimement liée à la sémantique de l'information stockée*. On n'organise pas une banque de données spécialisées et comportant des classes de propriétés bien définies (c.-à-d. le titre, l'auteur et l'année de publication, dans une base de données bibliographiques) de la même façon qu'une banque de données videotex destinée au grand public et offrant un contenu très diversifié. De plus, et contrairement au traitement de texte, les problèmes d'organisation et de récupération des données varient suivant la taille de la banque. Par exemple, un système à menus hiérarchiques peut être envisagé pour une banque de faible ou moyenne taille, mais devient inefficace avec une banque de très grande taille, particulièrement si le contenu est disparate.

Cette différence de nature des deux domaines de tâche engendre une troisième source de variation, reliée aux critères d'efficacité ergonomique. Comme nous l'avons souligné, le traitement de texte devient assez vite une activité routinière; l'intervention des chercheurs vise donc avant tout à accélérer l'atteinte de ce stade de compétence et à minimiser le temps d'exécution tout en réduisant les erreurs. Il peut en être de même pour les banques de données, mais pas dans tous les cas : il est sans doute possible d'atteindre ce stade d'expertise dans un fichier de clients ou d'inventaire utilisé quotidiennement, et où toute l'information est classifiée dans quelques champs bien définis. Il en va autrement dans un très vaste fichier hétérogène, dont le contenu est moins prédéfini, comme ce sera le cas par exemple lors d'une recherche thématique dans une base de données bibliographiques : dans un tel cas (et nous en savons quelque chose...), la tâche est une réelle activité de résolution de problèmes et le premier critère de performance à satisfaire sera l'*efficacité de la requête*. Pour employer les termes de la théorie de la détection des signaux, il faudra évaluer la proportion de «misses» (information désirée mais non récupérée) et de «false alarms» (information récupérée mais non

désirée) et développer un système qui diminue ces deux catégories au profit des «hits» (information désirée et récupérée). Un système de traitement de texte peut être mal conçu et comporter de nombreux irritants, mais l'usager finira en général par parvenir à ses fins; une banque de données peut être carrément inutilisable.

La quatrième dimension qui oppose traitement de texte et base de données tient à la syntaxe et à l'emboîtement des commandes. Dans le traitement de texte, une sous-tâche typique comme le remplacement d'un mot par un autre ne requiert qu'une séquence courte de commandes, et la révision d'un texte peut être conçue comme une suite de telles séquences relativement indépendantes les unes des autres. La tâche revient à une itération de sous-tâches peu hiérarchisées. De la même façon, la syntaxe et la grammaire du langage de commandes sont très contraintes, si bien que le nombre de «phrases» permises est fini et dénombrable.

Dans une base de données complexe, une requête peut prendre la forme d'une séquence assez longue de commandes enchassées et mutuellement dépendantes, qui peut atteindre la complexité d'un petit programme et qui peut exiger une bonne part de planification de la part de l'usager. La forme des requêtes est donc beaucoup plus variable, et l'étude des langages de requête («query languages») est au coeur de la recherche ergonomique sur les bases de données. C'est pourquoi, dans le cadre du présent travail, nous nous limiterons à présenter certaines des études qui ont été effectuées pour mettre au point et évaluer les langages de requête. Pour ce faire, nous nous appuierons sur deux articles-synthèse qui nous ont semblé refléter avec justesse l'état du domaine, soit la revue de Reisner (1981) et surtout l'article de Jarke et Vassiliou (1985).

L'étude des langages de requête

Dans sa revue des travaux réalisés sur les langages de requête, Reisner (1981) établit plusieurs distinctions intéressantes et qui, quelques années plus tard, n'ont encore rien perdu de leur pertinence. Reisner tente en particulier de clarifier la notion de facilité d'usage des langages de requête. Elle distingue tout d'abord trois dimensions qui différencient les langages

de requête. Ils peuvent varier par la forme syntaxique, certains langages étant par exemple linéaires, comme dans beaucoup de systèmes à mots clés, et d'autres bidimensionnels, comme dans les systèmes de «requête par exemple» (Zloof, 1983). On peut aussi distinguer les langages procéduraux et non procéduraux, selon que la requête consiste à spécifier une séquence d'étapes pour arriver au sous-ensemble cherché ou à simplement spécifier les caractéristiques de ce sous-ensemble. Les langages peuvent aussi varier par la structuration apparente des données stockées, c'est-à-dire la forme de l'organisation des données qui est présentée à l'usager. Cette structure peut être *relationnelle* (sous forme de tableau), *hiérarchique* (sous forme d'une arborescence inversée) ou *en réseau* (sous forme de graphe qui peut être hétérarchique).

Reisner fait ensuite l'inventaire des tâches utilisées pour mesurer la facilité d'usage, ainsi que des critères d'évaluation ergonomique des langages. Au niveau des tâches, on retiendra l'écriture, la lecture et l'interprétation d'une requête, la mémorisation de la structure des données et la génération de requêtes multiples pour un même problème. Au niveau des critères ergonomiques, Reisner évoque certains des critères généraux cités au chapitre 2 (vitesse d'apprentissage, vitesse d'exécution et rétention), mais en ajoute d'autres comme l'efficacité de la recherche du point de vue de l'information repérée (dont il a été question plus haut) et la vitesse de réapprentissage, c'est-à-dire la facilité avec laquelle un usager occasionnel réapprend les éléments oubliés du langage.

Reisner donne ensuite plusieurs exemples montrant comment ces tâches et ces critères ont été utilisés pour mesurer quantitativement la facilité d'usage et pour comparer entre eux plusieurs langages de requête. Ainsi, Greeblatt et Waxman (1978; dans Reisner 1981) montrent que dans une base de données relationnelle, l'utilisation d'une syntaxe bidimensionnelle (requête par exemple) facilite l'apprentissage et rend les requêtes plus rapides et plus précises que le recours à une syntaxe linéaire. Welty et Stemple (1979; dans Reisner 1981) s'attaquent à la procéduralité, et montrent que langages procéduraux et non procéduraux sont équivalents pour des requêtes simples, mais qu'un langage procédural s'avère supérieur

pour des requêtes complexes. Quant aux effets de la structuration apparente des données, Lochovsky et Tsichrizis (1977; dans Reisner 1981) comparent bases relationnelles, en réseau et hiérarchiques et trouvent que chez des usagers peu familiers avec le domaine du contenu de la banque, la structure relationnelle engendre plus fréquemment des requêtes correctes que la banque en réseau, elle-même supérieure à la banque hiérarchique. Ces différences s'estompent en bonne partie lorsque les usagers sont plus familiers avec le contenu de la banque.

Il faut toutefois interpréter avec précaution ces résultats. Comme le souligne à plusieurs reprises Reisner, la généralité de tels résultats expérimentaux n'est pas mesurable, et il est essentiel de tenir compte des conditions expérimentales et surtout des caractéristiques des banques testées.

Parmi toutes les études que nous avons recensées, l'article de Jarke et Vassiliou (1985) constitue la synthèse la plus remarquable du domaine des langages de requête. Jarke et Vassiliou se sont donnés comme objectif de mettre au point une méthodologie d'évaluation des langages de requêtes du point de vue de la fonctionnalité et de la convivialité, méthodologie qui tienne compte des types d'usagers. Nous n'exposerons pas en détail le schème proposé, mais ces deux auteurs fondent ce schème sur trois taxonomies qui méritent notre attention : classification des langages, des usagers et des critères d'évaluation.

Au niveau des langages, Jarke et Vassiliou (voir aussi Vassiliou et Jarke, 1982) classent les langages sous deux dimensions (voir figure 4) : la première dimension est celle des méthodes de requête et permet d'organiser les langages tels qu'on les trouvait jusqu'au début des années 80. Selon ces auteurs, les langages se seraient historiquement développés en suivant deux tendances : langages orientés davantage vers les caractéristiques ergonomiques ou au contraire issus de préoccupations plus informatiques. On trouve pour chacune de ces tendances quatre méthodes de requête dont Jarke et Vassiliou décrivent les caractéristiques.

Figure 4

La seconde dimension, orthogonale à la première, est celle des modalités sensorielles mises à contribution et permet d'organiser les langages développés récemment. On note par exemple le recours aux interfaces à manipulation directe (Shneiderman, 1986a), aux bases de données «spatiales» qui permettent à l'usager d'explorer la banques comme un environnement à trois dimensions (Herot, 1984), et aux banques multimodales (Bolt, 1984; Schmandt, 1985; Schmandt et Hulteen, 1982). Jarke et Vassiliou relèvent aussi les principaux systèmes «intelligents» qui permettent à l'usager de poser des questions sur la structure des données, qui lui viennent en aide dans la formulation de sa requête (Tou, Williams, Fikes, Henderson et Malone, 1982) ou encore qui interagissent en langage naturel et acquièrent de nouvelles connaissances par expérience (Schank et Slade, 1984; dans Jarke et Vassiliou, 1985).

Au niveau des usagers, Jarke et Vassiliou suggèrent une classification fondée sur les compétences vis-à-vis de l'interaction (qui seraient une combinaison de la familiarité de l'usager avec les concepts de programmation et de sa fréquence d'usage du langage en question) et sur les compétences face au domaine (qui dépendraient de sa connaissance de la structure et du contenu de la banque, ainsi que de l'éventail des requêtes que l'usager doit être amené à effectuer). Cette typologie offre l'avantage d'être mieux adaptée au domaine des banques de données que d'autres classifications plus générales et de reconnaître la différence entre compétence d'interaction et de contenu, distinction déjà relevée par Streitz (1986).

Comme Reisner (1981), Jarke et Vassiliou établissent eux aussi une liste de critères d'évaluation ergonomique, mais dans leur cas, il s'agit d'une typologie nettement mieux développée, comme le montre la figure 5.

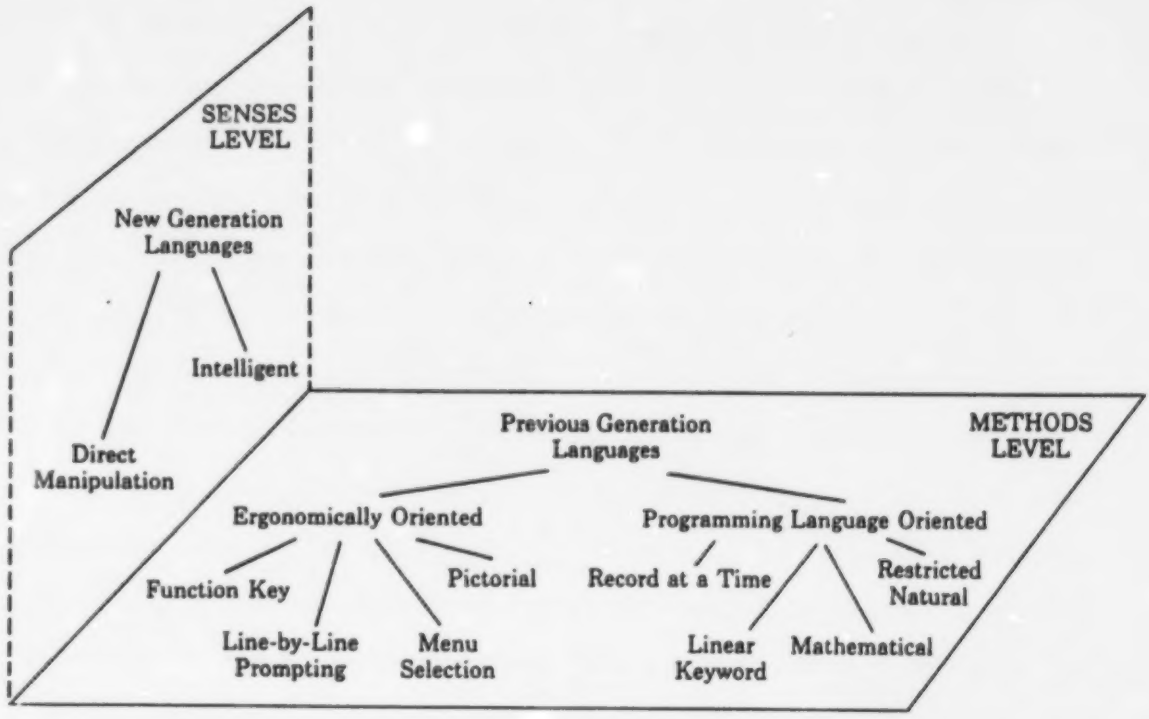

Figure 4- Classification des langages de requête (Jarke et Vassiliou, 1985)

Figure 5

Pour Jarke et Vassiliou, l'efficacité ergonomique reposerait sur deux dimensions en équilibre parfois instable, que l'usager évaluerait en fonction de la relation **coût/bénéfice** : la convivialité et la fonctionnalité. La **convivialité** représente le coût ou l'effort à faire pour manipuler le système. Dans le cas d'une banque de données, il s'agit d'évaluer l'effort demandé pour effectuer une requête : charge mentale («thinking»), longueur de l'intrant, erreurs produites et apprentissage. La **fonctionnalité** représente le potentiel du langage et détermine le bénéfice à espérer pour l'usager du point de vue de la valeur de l'information recueillie. Deux aspects sont à considérer : la **puissance** du langage, qui résulte de la *variété des requêtes possibles* et de la *sélectivité des requêtes*, c'est-à-dire de la capacité de retrouver l'information désirée et seulement celle-ci. La puissance est aussi tributaire de l'*indépendance relative du langage* par rapport aux diverses applications possibles et aux différents modes de structuration apparente des données. Le second aspect est lié au résultat d'une requête et au pouvoir qu'a l'usager de contrôler la qualité et la forme de l'extrant.

Dans le cas des banques de données, la fonctionnalité est vraisemblablement un critère plus important que pour le traitement de texte, car la puissance exigée varie de façon très marquée selon le contexte d'application et les besoins de l'usager.

Jarke et Vassiliou poursuivent en croisant ces trois typologies des langages, des usagers et des critères ergonomiques pour formuler leur méthodologie d'évaluation. Bien qu'on puisse remettre en question la valeur prédictive réelle de cette méthode, il n'en demeure pas moins que cette étude nous semble faire le point sur l'état actuel de nos connaissances sur les langages de requête.

Avant de mettre un terme à cette section sur les banques de données, soulignons les efforts récents pour mieux comprendre les avantages et les limites de l'utilisation du langage naturel ou pseudo-naturel (Dumais et Landauer, 1982; Koch, 1986; Ogden et Brooks, 1983; Small, 1983; Turner, Jarke, Stohr et Vassiliou, 1984), car il n'est pas toujours clair que le

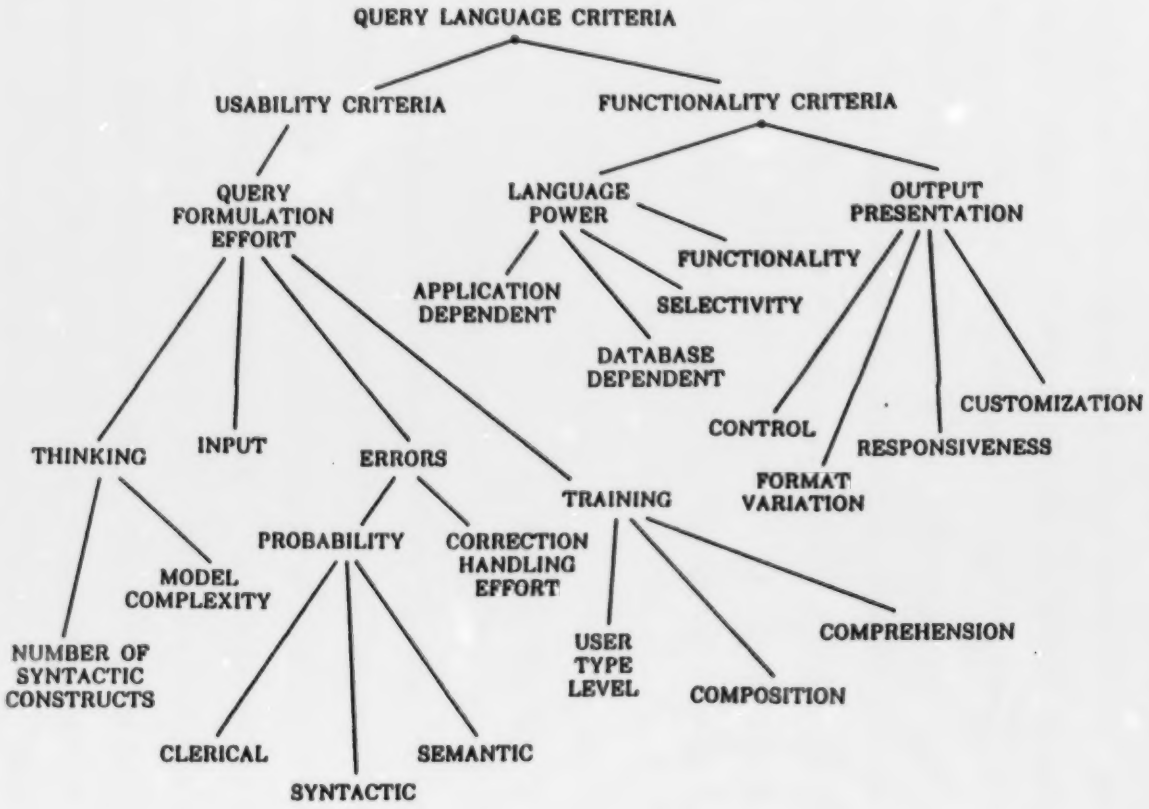

Figure 5- Classification des critères ergonomiques (Jarke et Vassiliou, 1985)

recours au langage naturel soit optimal dans le contexte de la recherche d'information (Hayes, 1985). Il convient enfin de souligner une autre avenue de recherche qui ne touche pas directement au problème des langages de requête, mais plutôt à l'**exploration** des données. C'est un fait bien connu que l'une des limites actuelles des systèmes informatiques est ce «goulot d'étranglement» que constitue l'écran en termes de flux informationnel. Le problème est particulièrement évident dans les banques de données, où l'accès à l'information est considérablement réduit par cet espace de visualisation restreint. C'est pourquoi plusieurs se sont attaqués à ce problème en imaginant des systèmes permettant de «naviguer» à l'intérieur des données. Citons, entres autres, les travaux de Herot (1984) et du groupe du M.I.T. (Bolt, 1984), de même que l'approche multi-médias de McDonald (1982), le système d'«extension de mémoire» de Jones (1986) et la vision en «fisheye» de Furnas (1985, 1986).

5.3 La messagerie électronique

Parmi les applications possibles des systèmes informatiques en milieu de travail, la communication interpersonnelle médiatisée par ordinateur compte parmi les moyens destinés à optimiser les communications organisationnelles. La messagerie électronique n'est qu'une des formes de communication médiatisée par ordinateur, qui comprend aussi les systèmes de partage de fichiers pour le travail coopératif, la conférence par ordinateur, la communication en temps réel de terminal à terminal et les systèmes de partage d'écrans (Bannon, 1986; pour une vision plus générale, voir les travaux de Hiltz, 1983; Hiltz et Turoff, 1978; Kerr et Hiltz, 1982).

La fonction première d'un système de messagerie ou de courrier électronique est de permettre l'envoi et la réception de messages le plus souvent textuels, messages qui sont stockés dans une «boîte aux lettres» et récupérés sur demande par le destinataire. Les messages sont envoyés simultanément à une ou plusieurs personnes, qui peuvent être reliées à un même

ordinateur ou au contraire partager un système de messagerie à partir d'ordinateurs disséminés à travers le monde, comme c'est le cas des réseaux comme ARPANET. Les avantages sont évidemment la transmission instantanée du courrier à un ou plusieurs usagers et surtout la possibilité de rejoindre une personne physiquement absente au moment de l'envoi, ce qui évite les problèmes liés à l'utilisation du téléphone, comme l'interruption du travail en cours et surtout les communications téléphoniques ratées, où les interlocuteurs tentent en vain de se rejoindre directement et se laissent message après message.

Les systèmes de messagerie comportent en général les fonctions de base du traitement de texte accompagnées de commandes d'envoi, de réception et d'adressage. En apparence, la tâche s'approche donc du traitement de texte assorti de commandes de gestion de ces fichiers particuliers que sont les messages et ne semble pas poser de problèmes particuliers. Certaines études menées auprès d'usagers et de chercheurs montrent toutefois que ce sont surtout des facteurs externes au système lui-même qui soulèvent des questions de convivialité.

Après avoir évalué les caractéristiques ergonomiques les plus importantes auprès de chercheurs ayant travaillé sur neuf systèmes de courrier, Turoff, Hiltz et Kerr (1982) concluent que les facteurs habituels (mode et mnémonicité des commandes, etc.) n'ont qu'une influence secondaire. En effet, l'utilisation des systèmes de messagerie a ceci de particulier que l'usager possède souvent une assez grande latitude quant à sa fréquentation plus ou moins assidue du système. Les compétences et la situation professionnelle des usagers sont très variables, ce qui donne aux facteurs motivationnels une importance primordiale. Dans certains contextes où l'usage du système est intensif et nécessaire au fonctionnement organisationnel, les usagers subissent la pression du milieu pour répondre à leurs messages dans des délais assez courts, et une réponse qui prendrait plus d'une journée serait une marque de «mauvaises manières» (Bannon, 1986). Dans beaucoup d'autres cas, la proportion d'utilisateurs assidus n'a pas encore atteint la «masse critique», et l'usage du système repose encore sur le bon vouloir de l'usager; le cas échéant, la facilité d'usage devient de première importance.

Hersh (1982) relève un autre phénomène intéressant lorsqu'il étudie l'utilisation d'un système de messagerie destiné aux cadres. Chez les cadres disposant des services d'une secrétaire, 50 % n'utilisent pas le système eux-mêmes, mais envoient et reçoivent leurs messages par son intermédiaire. Bien souvent, la secrétaire rédige elle-même les messages et filtre ceux destinés à son supérieur, et celui-ci n'accède qu'aux copies écrites, ce qui constitue une utilisation très conforme aux moyens plus traditionnels. De plus, les cadres qui apprennent à utiliser le système le font en général par essais et erreurs, même si un cours de trois heures leur a été offert (voir aussi Hiltz et Kerr, 1986). Cette réorientation de l'usage de la messagerie n'a en soi rien de négatif, mais témoigne bien de l'importance des facteurs motivationnels dans l'utilisation de ces systèmes. Pour des cadres qui disposent d'une secrétaire et ne sont pas familiers avec l'usage d'un clavier, le coût d'utilisation perçu ne vaut pas le bénéfice d'une utilisation directe, et on peut croire qu'il faudra des systèmes doués de capacité de reconnaissance de la parole pour les satisfaire.

Le seul véritable problème ergonomique qui soit particulier à la tâche de messagerie a trait au phénomène de la **«paperasse électronique»** («electronic junk») et pose le problème de la récupération sélective de l'information. Lorsque plusieurs centaines d'usagers sont reliés, l'une des stratégies courantes de partage des messages consiste pour l'usager à s'associer à des «listes de destinataires» en fonction de ses intérêts. Celui qui envoie un message doit donc choisir son ou ses groupes de destinataires. Malheureusement, beaucoup d'utilisateurs ont tendance à être peu sélectifs dans leur adressage, si bien qu'on peut se retrouver un bon matin avec plusieurs dizaines, sinon plusieurs centaines de messages en attente de lecture, sans pouvoir déterminer lesquels sont pertinents. C'est le problème de la paperasse électronique qui peut devenir anti-productif comme l'ont souligné plusieurs chercheurs (Denning, 1982; Hiltz et Turoff, 1985; Palme, 1984, dans Malone, Grant et Turbak, 1986).

Bien que plusieurs tentatives de solution aient été suggérées (Hiltz et Turoff, 1985; Stallman, 1983; dans Malone *et al.*, 1986), nous retiendrons ici le prototype développé

par Malone et *al.* (1986). Utilisant une interface à manipulation directe, le système imaginé consiste à fournir à l'usager différents gabarits semi-structurés («templates») pour rédiger et lire ses messages. Il s'agit en quelque sorte de stocker les messages sous forme de base de données relationnelle. L'usager peut filtrer ou classer ses messages en fonction des valeurs choisies dans certains champs de la base. Lorsqu'il émet un message, l'usager peut en envoyer copie dans un fichier spécial appelé «information lens», qui redistribue automatiquement ce message à tous les usagers ayant spécifié les mêmes valeurs sur le gabarit. L'un des avantages du prototype de Malone *et al.* est que la mise au point des gabarits repose sur une analyse empirique de la nature des messages échangés dans l'organisation, ce qui permet non seulement à l'usager de perdre moins de temps à consulter ses messages, mais favorise un flux des communications adapté à l'entreprise.

Conclusion

Nous n'avons abordé ici que trois des tâches les plus courantes dans le domaine de la bureautique. Plusieurs autres domaines de tâches ont fait l'objet de recherches, dont la programmation, le graphisme sous ses innombrables formes et le contrôle de processus (particulièrement dans le domaine du contrôle du trafic aérien). On pourrait encore parler de toutes les applications relevant de l'enseignement assisté par ordinateur, de la conception et de la fabrication assistées par ordinateur, des systèmes experts d'aide à la prise de décision, etc. Il faut noter par ailleurs que les domaines de tâches tendent maintenant à fusionner à l'intérieur de logiciels intégrés et permettent par exemple d'allier texte, graphique et banques de données et que l'usager peut vouloir effectuer plusieurs tâches (voir à ce sujet Cypher, 1986 et Miyata et Norman, 1986).

Il ne pouvait être question de recenser toutes ces études, qui ont à elles seules fait l'objet de centaines de publications. L'objectif de ce chapitre était plutôt de montrer comment l'étude de l'interaction humain-ordinateur n'est pas tributaire que du mode de

communication entre l'usager et le système, mais aussi de la tâche ou des tâches en cours. Comme nous l'avons vu, chaque tâche pose certains problèmes d'ergonomie cognitive qui lui sont spécifiques. C'est pourquoi on distingue de plus en plus la sémantique de l'interaction de celle de la tâche (Streitz, 1986; Norman, 1984). Comme le fait remarquer Norman (1984, p. 60), la conception de systèmes requiert trois sortes de connaissances : la première est celle du design, de la programmation et de la technologie; la seconde est la connaissance de l'être humain et des modèles mentaux; la troisième est celle de la tâche à accomplir. Les concepteurs connaissent généralement bien le design, mais pas l'usager et la tâche. Le psychologue connaît bien l'usager, mais pas le design et la tâche. L'usager, enfin, connaît la tâche, mais pas les deux composantes. La conception intelligente de systèmes exige donc la constitution d'équipes offrant ces trois types de compétence.

Chapitre 6

Les pistes de recherche

Dans les chapitres précédents, nous avons tenté de brosser un tableau aussi général que possible de différentes recherches effectuées en ergonomie cognitive des systèmes informatiques. Nous espérons que cette revue de la littérature aura convaincu le lecteur que l'ergonomie cognitive est un domaine de recherche jeune, vigoureux et en pleine expansion. Nous avons aussi voulu montrer que l'ergonomie cognitive souffre de défauts associés à son jeune âge, à savoir une certaine imprécision dans la définition de son objet d'étude, un foisonnement de méthodes et une certaine anarchie quant aux problèmes abordés. Il nous semble donc important, dans un dernier chapitre, de proposer certaines pistes de recherche susceptibles, selon nous, de mener à une meilleure compréhension des interactions humain-ordinateur et ainsi de contribuer au développement d'interfaces plus conviviales.

Ce chapitre diffère donc des précédents sous plusieurs aspects. En premier lieu, il se veut plus sélectif que les autres chapitres. Nous n'aborderons, en effet, que quelques problèmes spécifiques dont nous nous bornerons à montrer l'importance pour la recherche future. En second lieu, ce chapitre est plus subjectif que les précédents puisque les thèmes abordés résultent d'une sélection effectuée parmi plusieurs possibilités. Nos choix ne sont pas nécessairement incompatibles avec ceux d'autres chercheurs dans le domaine, tel Shneiderman (1986b) par exemple, mais notre but n'est pas de donner un reflet fidèle des suggestions qui se retrouvent dans la littérature. Enfin, un dernier commentaire s'impose. Le but de ce chapitre est de suggérer certains thèmes de recherche et non de développer des projets de recherche. Il s'agit donc davantage de présenter certaines problématiques intéressantes que de décrire avec précision des méthodes et des plans expérimentaux.

6.1 Les interfaces à manipulation directe

Les interfaces à manipulation directe se sont développées à la suite de l'avènement de techniques permettant l'affichage plein écran et l'adressage de chacun des points (ou pixels) sur l'écran. Grâce à ces techniques, il devient possible de «manipuler» aisément les «objets» qui sont représentés à l'écran. Il existe déjà des interfaces à manipulation directe pour différentes tâches allant du traitement de texte à la conception assistée par ordinateur. Certains systèmes informatiques, dont le plus connu est sans doute l'ordinateur Macintosh, ont été spécialement conçus pour permettre la manipulation directe. Mais, puisque ces développements sont relativement récents, les avantages et les inconvénients de la manipulation directe comme façon d'interagir avec l'ordinateur sont encore peu connus.

Les avantages les plus fréquemment cités concernent la plus grande facilité d'apprentissage et d'utilisation des interfaces à manipulation directe en comparaison avec les interfaces à commandes qui, elles, requièrent que l'usager maîtrise une syntaxe abstraite et souvent arbitraire. Même si ces avantages sont intuitivement plausibles, on trouve encore peu de données quantitatives permettant d'en étayer l'existence. Certaines expériences ont été effectuées, mais rares sont celles qui ont comparé la manipulation directe avec d'autres modalités d'interface tout en maintenant le logiciel de la tâche identique dans les deux cas. Par exemple, les logiciels de traitement de texte qui permettent la manipulation directe diffèrent sous plusieurs aspects des logiciels à commandes, de sorte que la structure des tâches à effectuer peut varier avec la modalité d'interaction. Dans un tel cas, il est difficile de tirer des conclusions claires quant à la seule modalité d'interaction.

Un autre problème concerne la possibilité de généraliser à d'autres tâches les résultats obtenus dans une tâche donnée. Certaines tâches comme la conception assistée par ordinateur semblent se prêter tout naturellement à la manipulation directe, puisqu'il s'agit là d'une activité essentiellement orientée vers des objets à caractère spatial. Mais qu'en est-il des

tâches de nature verbale et sémantique telle la recherche d'information dans une banque de données? Enfin, qu'en est-il de tâches essentiellement abstraites telle la programmation? Est-ce que les interfaces à manipulation directe facilitent l'apprentissage et l'exécution de ces tâches? Ces questions ont encore reçu très peu d'attention. Or, les questions relatives à la facilité d'apprentissage et d'utilisation des systèmes ne correspondent qu'à quelques-uns des critères d'évaluation des interfaces. Qu'en est-il des autres critères mentionnés au chapitre 2 comme, par exemple, le taux d'exploitation des systèmes? Est-ce que les interfaces à manipulation directe favorisent un taux d'exploitation plus élevé ou est-ce qu'elles nuisent au contraire au développement de l'expertise? Toutes ces questions se posent de façon urgente compte tenu de l'état actuel des technologies d'interface.

Il est certes possible de rétorquer que ces questions sont trop liées à nos technologies actuelles et que les progrès techniques les auront rendues désuètes avant même qu'on y ait trouvé réponse. Il est certain que les interfaces actuellement disponibles seront un jour dépassées. À cet égard, Gaines et Shaw (1986) distinguent plusieurs stades dans l'évolution des techniques d'interface, allant d'une phase d'exploration des possibilités offertes par une nouvelle technologie à un stade de production et de reproduction massive, puis à un stade de connaissance des principes, etc. Dans une certaine mesure, les interfaces à manipulation directe ont dépassé le stade de l'exploration, mais on ne peut affirmer sans ambages qu'elles en sont au stade de la production massive, puisque la majorité des systèmes actuels n'en sont pas encore dotés. Par ailleurs, certaines recherches en cours (voir les travaux du M.I.T. au chapitre 3) visent à raffiner les possibilités de la manipulation directe, qui n'a donc pas encore atteint son plein développement. On peut donc croire que les interfaces à manipulation directe auront encore une vie utile de plus d'une dizaine d'années, ce qui laisse suffisamment de temps pour que la recherche en ce domaine produise des résultats utiles. Il convient peut-être de rappeler ici que les technologies n'envahissent pas toujours le marché sitôt après leur invention : la fameuse souris, qui a percé sur le marché au début des années 80, a été brevetée avant 1970.

Par ailleurs, nous croyons que l'avènement des interfaces à manipulation directe soulève des questions théoriques importantes. Si ces interfaces sont bien définies sur le plan physique, elles le sont beaucoup moins sur le plan cognitif puisque les objets représentés et les manipulations permises peuvent être de différentes natures. Il est plausible de penser que le succès de telles interfaces dépendra de la fidélité avec laquelle les images sur l'écran (icônes) et leur manipulation correspondront aux représentations mentales que possèdent les usagers et aux transformations qu'ils peuvent opérer sur ces représentations. Or nous connaissons encore très peu de choses à propos des représentations mentales en question, par exemple, dans la conception d'une carrosserie d'automobile. Et pourtant, comme nous l'avons déjà mentionné, cette activité est de nature essentiellement spatiale. Qu'en est-il alors de la représentation spatiale d'une information abstraite telle que la date de naissance d'Abraham Lincoln? Quelle icône doit-on utiliser pour représenter ce type d'information? Et sous quelle «forme» doit-on représenter la banque de données contenant les informations relatives aux divers présidents des États-Unis de façon à permettre aux usagers d'y «naviguer» naturellement sans se perdre? La question de savoir si les humains peuvent se représenter de façon imagée des informations qui ne le sont pas intrinsèquement est encore vivement débattue en psychologie cognitive. Nous ignorons donc encore presque tout sur la façon dont les usagers s'y prennent et dans quelle mesure cette habileté varie dans la population. Ces problèmes, qui sont liés à la question des modèles mentaux des usagers, ont donc une importance aussi bien théorique que pratique.

Avant de discuter la question des modèles mentaux, il peut être utile de souligner encore une fois l'importance des interfaces à manipulation directe. L'ergonomie cognitive des systèmes informatiques a débuté avec l'avènement des ordinateurs interactifs. Sur le plan ergonomique, le grand progrès des ordinateurs interactifs réside dans leur capacité de répondre presque immédiatement aux requêtes de l'usager. Cette technologie nous a donc mené à concevoir le travail sur ordinateur comme une interaction semblable aux interactions entre partenaires humains. Il n'est donc pas surprenant que l'interface idéale ait souvent été décrite comme celle permettant un dialogue en langage naturel entre l'usager et la machine. Les

interfaces à manipulation directe ont le potentiel de changer radicalement cette vision du travail sur ordinateur. Il ne s'agit plus d'*interagir* de façon verbale et abstraite avec un partenaire invisible mais plutôt d'*agir* concrètement sur des objets visibles. L'usager n'est plus un interlocuteur mais un acteur. Il est certain qu'un tel changement de perspective aura des conséquences importantes non seulement sur la recherche en ergonomie cognitive mais aussi sur la conception du travail en général, même s'il est difficile d'en prédire exactement la nature.

6.2 Les modèles mentaux

Notre deuxième recommandation vise à promouvoir la recherche sur les modèles mentaux des usagers. La notion de modèle mental tire sa source de l'un des postulats les plus fondamentaux de la psychologie cognitive, suivant lequel l'être humain agit et raisonne en fonction de sa représentation mentale du monde qui l'entoure. L'être humain est en constante interaction avec son environnement, et une grande partie de la cognition humaine consiste à abstraire de cette interaction une représentation du monde et des règles qui le régissent. L'être humain se construit donc un modèle du fonctionnement du monde, et c'est en fonction de ce modèle qu'il agit et prévoit la conséquence de ses actes. Le recours aux modèles mentaux est un phénomène omniprésent, qu'il s'agisse d'interpréter les intentions d'un interlocuteur ou de diagnostiquer ce qui ne va pas lorsqu'une automobile est en panne.

L'analyse systématique des modèles mentaux est relativement récente et a jusqu'à présent surtout porté sur le compréhension de systèmes mathématiques ou physiques comme la mécanique des fluides (Hayes, 1979, dans Gentner et Stevens, 1983), l'électricité (Gentner et Gentner, 1983), la thermodynamique (Wiser et Carey, 1983) et le mouvement (McCloskey, 1983). Certains se sont toutefois penchés sur le modèle mental que se font les gens des appareils qu'ils utilisent. En particulier, plusieurs travaux récents ont porté sur l'utilisation des calculatrices de poche (Halasz et Moran, 1982, 1983; Young, 1981, 1983) et montrent

clairement que les utilisateurs possèdent en général un modèle très incomplet et souvent inadéquat du fonctionnement de leur calculatrice. Par exemple, les usagers refusent fréquemment de recourir à certaines fonctions comme les registres de mémoire, parce qu'ils sont incertains de leur fonctionnement, ou développent des comportements superstitieux comme celui d'appuyer plusieurs fois sur la touche «clear» avant chaque nouveau calcul. Plusieurs études (Halasz et Moran, 1983; Kieras et Bovair,1984) montrent par ailleurs qu'un modèle mental adéquat du fonctionnement d'un appareil facilite l'apprentissage et la rétention des commandes et des procédures, engendre des stratégies plus efficaces et facilite le recouvrement en cas d'erreur.

Appliquée au domaine de l'interaction humain-ordinateur, la notion de modèle mental se définit comme la représentation que se fait l'usager du fonctionnement du système avec lequel il interagit. Dans le cas d'un ordinateur, le développement d'un modèle mental adéquat est d'autant plus important que l'usager dispose en général de peu d'indices pour le construire. En effet, dans le cas des appareils physiques, il y a généralement correspondance entre structure et fonction, c'est-à-dire qu'on peut déduire en partie le fonctionnement d'un appareil en examinant ses caractéristiques physiques. De plus, l'interaction avec ce type d'appareil fournit des indices de plusieurs sources : mouvement des pièces, relations spatiales entre les composantes, sons divers, etc.

Les systèmes informatiques sont beaucoup plus «opaques» en ce sens qu'il est difficile pour l'usager d'appréhender ce qui se passe «derrière l'écran» (Brown, 1986). Le système émet bien quelques signaux physiques, comme le son de la disquette en mouvement, les lumières de la console ou le temps de réponse, mais ces signaux sont de peu d'utilité pour qui ne possède pas déjà un modèle mental complexe. Par conséquent, et bien qu'on connaisse encore peu de choses sur le sujet, il est probable que les modèles mentaux des usagers de systèmes informatiques présentent des limites au moins aussi importantes que celles décrites par Norman (1983b).

1) Les modèles mentaux sont incomplets.

2) La capacité des usagers d'exécuter leur modèle, c'est-à-dire de le faire fonctionner mentalement, est très limitée.

3) Les modèles mentaux sont instables : les usagers ont tendance à oublier certains détails de leur modèle.

4) Les modèles mentaux n'ont pas de frontières bien définies : les usagers ont tendance à confondre les modèles de logiciels similaires.

5) Les modèles mentaux n'ont rien de scientifique : les usagers continuent d'avoir des comportements superstitieux même lorsqu'ils les savent inutiles, s'ils exigent peu d'efforts physiques et leur épargnent des efforts mentaux.

6) Les modèles mentaux ont tendance à être parcimonieux : les usagers préfèrent effectuer quelques actions de plus, si elles leur évitent une planification mentale plus complexe. Cela sera particulièrement le cas si l'usager peut avoir recours à la répétition des mêmes actions simples. En ce cas, il préférera une longue séquence d'actions à l'inclusion de commandes plus complexes dans son modèle, même si son comportement est peu efficace.

Il nous semble donc prioritaire de mieux comprendre les modèles développés spontanément par les usagers et surtout d'analyser comment favoriser la construction de modèles mentaux plus adéquats. Certains ont déjà proposé quelques principes généraux de solution, comme l'apprentissage conceptuel et le recours à des métaphores, mais peu de travaux ont été entrepris pour mettre à l'épreuve ces solutions. Pourtant, la construction d'un modèle mental adéquat offre plusieurs avantages, que nous résumerons en terminant.

a) Un apprentissage fondé sur un modèle mental général est beaucoup plus facilement transférable.

b) Un modèle mental complet permet à l'usager de comprendre la situation et d'imaginer des solutions en cas de panne ou d'erreur.

c) La compréhension du système étant plus approfondie, l'usager peut constamment choisir la stratégie optimale.

d) L'usager ayant un modèle mental satisfaisant est plus facilement porté à explorer les diverses possibilités du système et à expérimenter de nouvelles stratégies.

e) Au niveau motivationnel, l'usager dont le modèle mental est riche possède un bien meilleur contrôle de l'interaction, ce qui constitue un renforcement positif important.

6.3 Les interfaces intelligentes

Qu'on le veuille ou non, les ordinateurs sont des outils complexes. Il y a certainement moyen d'en faciliter dans une certaine mesure l'utilisation, mais nous croyons qu'il existe des limites au delà desquelles la simplification se paie en perte de puissance, de généralité, d'efficacité et de flexibilité. Une solution à ce problème consiste à apprendre à l'usager à connaître son outil. La solution inverse, qui consiste à apprendre à la machine à «connaître» son usager, est davantage en accord avec les buts de l'ergonomie cognitive.

Nous avons vu dans le chapitre 4 que les taxonomies des usagers sont parfois contradictoires, souvent imprécises et toujours insatisfaisantes, puisque les taxonomies sont fixes alors que les usagers évoluent. Il est donc impossible de concevoir un système qui soit adapté a priori aux usagers et qui le demeure dans le temps. Il faut au contraire concevoir des systèmes capables de reconnaître les particularités de l'usager, de percevoir les changements qui s'opèrent en lui avec le temps et de s'adapter à ces changements. Cet idéal place les travaux en intelligence artificielle au coeur même du développement de l'ergonomie cognitive.

Les systèmes doivent d'abord être capables de reconnaître le niveau de compétence de l'usager. Les problèmes d'un usager novice ne seront pas ceux d'un usager expert ou encore ceux d'un usager occasionnel. Des travaux en intelligence artificielle visant à développer des méthodes permettant d'inférer le niveau de connaissance des usagers sont donc essentiels. En l'absence de telles méthodes, il est inutile de vouloir créer des systèmes tuteurs et des consultants automatisés puisque ces systèmes ne sauront pas quoi enseigner à qui ni quand.

Les capacités de reconnaissance et d'inférence des systèmes ne doivent pas se limiter au seul niveau de connaissance de l'usager. Elles doivent aussi s'étendre aux intentions et aux buts poursuivis par l'usager. La reconnaissance des intentions est une entreprise difficile puisque, contrairement aux connaissances des usagers, qui restent relativement stables à court terme, les buts poursuivis par l'usager changent en cours d'interaction, au fur et à mesure qu'ils sont atteints. En plus de connaître l'usager, le système doit connaître le domaine des tâches que l'usager tente d'effectuer.

Nous savons que les humains sont capables dans une certaine mesure de reconnaître les intentions d'autrui et que les bons professeurs sont capables de reconnaître les difficultés de leurs étudiants, mais nous connaissons encore mal les indices et les stratégies qui sont utilisées à cette fin. Pour être efficace, les travaux en intelligence artificielle doivent donc être accompagnés de recherches en psychologie cognitive. Compte tenu de l'envergure des problèmes soulevés, il ne faut pas s'attendre à ce que les travaux portent fruit immédiatement, mais nous sommes convaincus qu'à plus long terme, les développements les plus importants en ergonomie cognitive résulteront de la mise au point d'interfaces intelligentes.

6.4 L'interface organisationnelle

Tout au long de cette étude, nous nous sommes penchés sur les aspects cognitifs de l'interaction usager-ordinateur, en essayant de démontrer la pertinence et l'état actuel des travaux en ce domaine nouveau qu'est l'ergonomie cognitive des systèmes informatiques. Notre dernière recommandation débordera quelque peu de la stricte relation usager <--> tâche <--> système, pour souligner l'importance du contexte organisationnel dans lequel se déroule cette interaction et qui la détermine tout autant que les facteurs d'ordre strictement cognitif abordés jusqu'à présent.

Notre expérience personnelle de l'utilisation effective de la bureautique en milieu de travail nous indique en effet que la qualité de l'interaction est souvent fortement limitée par les contraintes liées à la situation réelle de travail. Nous en donnerons deux exemples simples. Dans une des organisations que nous avons eu l'occasion de connaître, l'introduction d'un système de traitement de texte dans un petit département s'est faite de la façon suivante : au moment de l'arrivée de l'unique appareil installé, une secrétaire s'est vu offrir un cours accéléré de quelques jours sur l'utilisation du dit appareil. À son retour au poste, on a tenu pour acquis qu'elle en avait maintenant une maîtrise parfaite, et la secrétaire a dû dès cet instant fournir un rendement au moins normal sinon accéléré. Après plus de deux ans d'utilisation, nous avons pu constater chez cette personne des lacunes importantes dans sa connaissance des fonctions du système. Les raisons nous en semblent assez claires. D'une part, il faut souligner qu'un apprentissage de quelques jours, même bien fait, est en général insuffisant pour permettre un apprentissage intériorisé de l'ensemble des commandes. Souvent, les commandes les plus complexes ne seront qu'abordées, au profit des commandes plus simples mais d'usage plus fréquent. Le nombre de commandes et de procédures d'un appareil de traitement de texte moderne dépasse largement la centaine, et l'apprentissage simultané de toutes ces notions constitue une nette surcharge compte tenu des capacité moyennes d'apprentissage, surtout qu'il s'agit le plus souvent d'un apprentissage procédural (c'est-à-dire du point de vue des séquences de commandes à effectuer) et non d'un apprentissage conceptuel (c'est-à-dire qui fournit un modèle mental des fonctions du système).

Or on s'attend d'autre part à ce que l'usager fonctionne à plein régime dès la fin de cet apprentissage, et on ne prévoit pas en conséquence d'autres sessions de perfectionnement, puisqu'il a présumément déjà vu l'ensemble des commandes. Résultat : face aux demandes souvent pressantes de ses supérieurs, l'usager va au plus urgent et apprend à se débrouiller avec un ensemble limité de fonctions simples qu'il connaît bien, sans jamais avoir le temps d'explorer les commandes plus complexes qu'il n'a pratiqué qu'à quelques occasions. L'usager n'a plus le temps de consulter le manuel, et personne n'est là pour lui indiquer ses

insuffisances. Notons en passant que la secrétaire de notre premier exemple s'est ensuite vu confier la tâche d'initier ses collègues au fonctionnement de l'appareil...

Notre deuxième exemple va dans le même sens : une secrétaire utilisant un des appareils de traitement de texte les plus répandus a vu son supérieur immédiat faire l'acquisition d'un micro-ordinateur récent utilisant une interface à manipulation directe. Celui-ci lui a évidemment demandé de se servir à l'occasion de cette nouvelle merveille, non seulement pour du traitement de texte mais aussi pour tracer des graphiques et construire une banque de données. Pour ce faire, il lui a donné une leçon de quelques minutes et confié les manuels (évidemment en anglais). Le résultat était prévisible : avec ce nouvel appareil, dont, paraît-il, l'apprentissage peut se faire par exploration, la secrétaire a perdu beaucoup de temps à tâtonner, pour obtenir des résultats plutôt médiocres puisque bien peu de ses connaissances antérieures étaient transférables au nouvel appareil d'une fonctionnalité beaucoup plus grande. La secrétaire a en conséquence développé une attitude très négative face au nouvel appareil, bien qu'il soit en théorie bien plus convivial que son prédécesseur consacré au traitement de texte.

On pourrait citer de nombreux autres exemples où les problèmes d'ergonomie cognitive sont en bonne partie attribuables à des facteurs de nature organisationnelle. On se rappellera entre autres l'utilisation restreinte que font souvent les cadres des systèmes de messagerie (voir chapitre 5). Les deux exemples que nous avons présentés portent sur une situation d'apprentissage, mais l'apprentissage ne doit pas être conçu comme la seule étape initiale de l'utilisation d'un système. D'une part, il est vain d'espérer que tout soit appris au départ; une bonne partie du développement de l'expertise réelle doit se faire en cours d'utilisation. D'autre part, l'évolution rapide des systèmes rend tout apprentissage relativement éphémère, et la technologie exige un recyclage constant. C'est pour ces raisons que deux des recommandations précédentes portaient sur l'acquisition de modèles mentaux adéquats et la mise au point d'interfaces intelligentes capables entre autres de guider l'usager après la phase initiale d'apprentissage. En fait, ce problème de l'interface organisationnelle pose le problème

du «taux d'exploitation» des systèmes, dont il a été question au chapitre 2. La conception des systèmes à venir devra tenir compte des conditions réelles d'introduction de la technologie, afin que l'on puisse en exploiter le plein potentiel. Les concepteurs doivent non seulement tenir compte des usagers, mais aussi de leurs conditions de travail. C'est pourquoi l'ergonomie cognitive doit savoir sortir parfois des laboratoires, pour analyser l'interaction telle qu'elle se produit en milieu «naturel». À notre avis, trois voies de recherche sont à privilégier en ce sens : a) une analyse cognitive des usages faits de la technologie lorsqu'elle est implantée depuis un certain temps; b) une analyse de la structure des activités des usagers, pour mieux comprendre comment la technologie s'insère dans ce contexte; c) une analyse des conditions organisationnelles qui favoriseraient les échanges de connaissances entre pairs (voir à ce sujet l'article de Bannon, 1986). Comme nous l'avons souligné dans les premiers chapitres de cette étude, les frontières de l'ergonomie cognitive ne sont pas encore clairement marquées. Cette lacune apparente peut devenir un avantage si les chercheurs en profitent pour décloisonner dès maintenant leur objet d'étude.

Périodiques consultés

Annual review of Information Science and Technology (É.-U.)

Applied Ergonomics (G.-B.)

Behaviour and Information Technology (G.-B.)

Ergonomics (G.-B.)

Ergonomics Abstracts (G.-B.)

Hewlett Packard Journal

Human Factors (É.-U.)

Human-Computer Interaction (É.-U.)

I.B.M. Systems Journal

IEEE Transactions on Software Engineering (É.-U.)

International Journal of Man-Machine Studies (É.-U.)

Le Travail humain (France)

Proceedings of the Computer-Human Interaction Conferences (É.-U.)

Références

ABELSON, P.H. (1982) The revolution in Computers and Electronics. Science, 215, 751-753.

ALDEN, D.G., DANIELS, R.W., et KANARCK, A.F. (1972) Keyboard design and operation : a review of the major issues. Human Factors, 14, 275-293.

ALLEN, R.B. (1981) Composition and editing of text. Ergonomics, 24, 611.

ALLEN, R.B. (1982a) Patterns of manuscript revisions. Behaviour and Information Technology, 1 (2), 177-184.

ALLEN, R.B. (1982b) Cognitive Factors in Human Interaction with Computers. Behaviour and Information Technology, 1, (3), 257-278.

ALLWOOD, C.M., ELIASSON, M., et WIKSTROM, T. (1986) Analogical thinking in Human Computer Interaction. Actes de la 3e conférence européenne d'ergonomie cognitive, (Paris, 15 au 19 septembre 1986), INRIA, 107-114.

ANDERSON, B. (1980) Programming in the home of the future. International Journal of Man-Machine Studies, 12, 341-365.

ANDERSON, J. R. (1985) Cognitive psychology and its implications. New York: Freeman, 2e édition.

BANNON, L.J. (1986) Computer-Mediated Communication. *In* D. A. NORMAN et S.W. DRAPER (Eds), User centered system design. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Earlbaum Associates, 433-452.

BARNARD, P.J., HAMMOND, N., MacLEAN, A. et MORTON,J. (1982) Learning and Remembering Interactive Commands. Behaviour and Information Technology, 1, (4), 347-358.

BARNARD, P.J., HAMMOND, N.V., MORTON, H. et LONG, J.B. (1981), Consistency and Compatibility in Human-Computer Dialogue. International Journal of Man-Machine Studies, 15, 87-134.

BEWLEY, W.L., ROBERTS, T.L., SCHROIT, D. et VERPLANK, W.L. (1983) Human Factors Testing in the Design of Xerox's 8010 "Star" Office Workstation. Proc. CHI'83 Human Factor in Computing System (Boston, December 12-15) ACM, New York, 72-77.

BIRNBAUM, J.S. (1982) Computers : A survey of trends and limitations. Science, 215, 760-765.

BLACK, J.B. et MORAN, T.P. (1982) Learning and Remembering Command Names. Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems, (Gaithersburg, Maryland, March 15-17), ACM, New York, 8-11.

BOLT, R.A. (1984) The Human Interface, where People and Computers Meet. Belmont, California : Lifetime Learning Publications.

BORENSTEIN, N.S. (1985) The Evaluation of Text Editors : A Critical Review of the Roberts and Moran Methodology Based on New Experiments. Proc. CHI'85

Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 99-106.

BORGMAN, C.L. (1984) Psychological Research in Human-Computer Interaction. *In* M. E. WILLIAMS (Ed.) Annual Review of Information Science and Technology, 9, 33-64.

BOURDEAU, J. (1986) Apprentissage conceptuel du traitement de texte à l'aide de jeu, simulation et tutorat, Thèse de doctorat inédite, Département de Technologie éducationnelle, Université de Montréal.

BROWN, J.S. (1986) From cognitive to social ergonomics and beyond. *In* Norman, D. et Draper, S.W. (eds.) User centered system design. Hillsdale, Laurence Earlbaum Associates.

BURCH, J.L. (1984) Computers : The non-technological (Human) Factors : A recommended Reading list on Computer Ergonomics & User Friendly Design, The Report Store, MA., 94 p.

BUXTON, W. (1986) Human interface design and the handicapped user. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril), ACM, New York, p. 291.

CARD, S.K. (1982) User perceptual mechanisms in the search of computer command menus. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 190-196.

CARD, S.K. (1984) Human Factors and the Intelligent Interface , Xerox Palo Alto Research Center, Rapport technique #84.2-01, Palo Alto, CA.

CARD, S.K., MORAN, T.P. et NEWELL, A. (1976) The manuscript editing task : A routine cognitive skill, Xerox Palo Alto Research Center, Rapport technique # 55 L 76-8, Palo Alto, CA.

CARD, S.K., MORAN, T.P. et NEWELL, A. (1980a) Computer text-editing : An information processing analysis of a routine cognitive skill. Cognitive Psychology, 12, 32-74.

CARD, S.K., MORAN, T.P. et NEWELL, A. (1980b) The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. Communication of the ACM, 23, (7), 396-410.

CARD, S.K., MORAN, T.P. et NEWELL, A. (1983) The Psychology of Human-Computer Interaction. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

CARD, S.K. et NORMAN, D. (1986) Resolved: Interface Design Doesn't Matter - A Debate. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril), ACM, New York, p. 89.

CARROLL, J. M. et MACK, R. L. (1983) Learning to use a word processor : by doing, by thinking, and by knowing. *In* J. THOMAS et M. SCHNEIDER (Eds) Human Factors in Computer Systems. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing. 13-51.

CARROLL, J.M. et KAY, D.S. (1985) Prompting, Feedback and Error Correction in the Design of a Scenario Machine. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 149-153.

CHAPANIS. A., PARRISH, R.M., OCHSMAN, R.B. et WEEKS, G.D. (1977) Studies in interactive communication : II. The effects of four communication modes on the linguistic performance of teams during cooperative problem solving. Human Factors, 19, 101-126.

CHIN, D.N. (1986) User Modeling in UC, the UNIX Consultant. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 24-28.

COLE, W.G. (1986) Medical Cognitive Graphics. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 91-95.

COHEN, P. et PERREAULT, C.R. (1979) Elements of a plan-based theory of speech acts. Cognitive Sciences, 3, (3), 177-212.

COMPANION, M.A. et CORSO, G.M. (1982) Task taxonomies: a general review and evaluation. International Journal of Man-Machine Studies, 17, 459-472.

CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA (1982) Planning now for an information society. Gouvernement du Canada, Ottawa.

CORDELL, A.J. (1985) Le grand dérangement. Étude de documentation, Conseil des sciences du Canada, Gouvernement du Canada, Ottawa.

COOPER, W.E. (1982) Cognitive aspects of skilled typewriting. New York : Springer-Verlag.

CYPHER, A. (1986) The structure of user's activities. *In* D. A. NORMAN et S.W. DRAPER (Eds) User centered system design. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Earlbaum Associates. 243-264.

DAMODARAN, L. (1981) The role of user support. *In* B. SHACKEL (Ed.) Man-Computer Interaction : Human factors aspects of computers and people, Rockville, Maryland : Sijthoff and Noordhoff.

DEATHERAGE, G.H. (1972) Auditory and other sensory forms of presentation. *In* H.P. VAN COTT et R.G., KINKADE, R.G., (Eds) Human Engineering Guide to Equipment Design. Édition révisée, Washington, D.C., : U.S. Government Printing Office. 123-160.

DE LEEUW, L. (1983) Teaching problem solving : An ATI study of the effects of teaching algorithmic and heuristic solution methods. Instructional Science, 12, 1-48.

DE LEON, L., HARRIS, W.G. et EVENS, M. (1983) Is There Really Trouble With Unix? Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, December 12-15) ACM, New York, 125-134.

DE MONTMOLLIN, M. (1986) L'ergonomie, La Découverte, Paris.

DENNING, T.J. (1982) Electronic Junk. Communication of the ACM, 163-165.

DESMARAIS, M., GIROUX, L. et LAROCHELLE, S. (1986) Modèle calculatoire du processus cognitif d'inférence des plans (résumé). Annales de l'ACFAS, Montréal, mai 1986.

DEVOE, D.B. (1967) Alternatives to handprinting in the manual entry of data. IEEE Transactions on Human Factors in Electronics, HFE-8, 21-31.

DIEBOLD, J. (1969) Man and the Computer. New York : Praeger.

DOIGNON, J.P. et FALMAGNE, J.C. (1985) Spaces for the assessment of knowledge, International Journal of Man-Machine Studies, 23, 175-196.

DOUGLAS, S. (1983) What features make a text editor easy to learn. Standford University and Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, Ca. p. 13.

DOUGLAS, S. A. et MORAN, T. P. (1983) Learning text editor semantics by analogy. Proc. CHI'83 Human Factor in Computing System (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 207-211.

DREYFUS, H.L. (1979) What Computers can't do: A Critique of Artificial Reason. New York : Harper and Row.

DU BOULAY B., O'SHEA, T. et MONK, J. (1981) The black box inside the glass box : presenting computing concepts to novices. International Journal of Man-Machine Studies, 14, 237-249.

DUMAIS, S.T. et LANDAUER, T.K. (1982) Psychological investigations of Natural Terminology for Command & Query Languages. *In* A. BADRE et B. SHNEIDERMAN (Eds), Directions in Human-Computer Interaction, Norwood, New Jersey : Ablex Publishers.

EASON, K.D. (1980) Dialogue design implications of task allocation between man and computer, Ergonomics, 23, 881-891.

EASON, K.D. (1981) A task-tool analysis of manager computer-interaction. *In* B. SHACKEL (Ed.) Man-Computer Interaction : Human factors aspects of computers and people, Rockville, Maryland : Sijthoff and Noordhoff, 289-307.

EASON, K.D. (1984) Towards the Experimental Study of Usability. Behaviour and Informaton Technology, 3 (2). 133-143.

EASON, K.D., DAMODARAN, L. et STEWART, T.F.M. (1975) Interface problems in Man-Computer Interaction. *In* E. MUMFORD et H. SACKMAN (Eds), Human choice and computers, Amsterdam : North Holland, 91-105.

EDMONDS, E. (1982) The Man-Computer Interface: a note on Concepts and Design. International Journal of Man-Machine Studies, 16, 213-236.

EGAN, D., BOWERS, C. et GOMEZ, L. (1982) Learner characteristics that predict success in using a text-editor tutorial. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 337-340.

EGAN, D. et GOMEZ, L. (1984) Assaying, isolating and accomodating individual differences in learning a complex skill. *In* R. F. DILLON (Ed.) Individual differences in cognition : Volume 2, New York : Academic Press.

EGAN, D., GOMEZ, L. WHEELER, E.A., SHARMA, D.K. et GRUCHACZ, A.M. (1983) How Interface Design Determines Who Has Difficulty Learning to Use a Text Editor. Proc. CHI'83 Human Factors in Computing Systems (Boston, 12 au 15 décembre, 1983), ACM, New York, 176-181.

EGLY, D. J. et WESCOURT, K. T. (1982) Cognitive style, categorization, and vocational effects on performance of relational data-base users. Bulletin of the Association for Computing Machinery (ACM), Special Interest Group on the Social and Behavioral Science of Computing (SIGSOC), ACM, New York, 337-340.

EMBLEY, D. et NAGY, G. (1982) Can We Expect to Improve Text Editing Performance ? Proc. CHI'82 Human Factors in Computing Systems (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars 1982), ACM, New York, 152-156.

ERICSSON, K.A. et SIMON, H.A. (1985) Protocol Analysis. Verbal Reports as Data. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.

EVANS, C. (1980) Les géants minuscules, Interéditions, Points.

FEIGENBAUM, E. et McCORDUCK, P. (1983) The fifth generation: artificial intelligence and Japan's computer challenge to the world, Reading, Mass : Addison-Wesley.

FISCHER, G., LEMKE, A. et SCHWAB, T. (1985) Knowledge-based Help Systems. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 161-167.

FOLLEY, L.J. et WILLIGES, R.C. (1982) User Models of Text Editing Command Languages. Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems, (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 326-331.

FOSS, D., ROSSON, M.B. et SMITH, P. (1982) Reducing Manual Labor : An experimental analysis of learning aids for a text editor. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 332-336.

FURNAS. G.W. (1985) Experience with an adaptive indexing scheme. Proc. CHI'85, Human Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 131-136.

FURNAS. G.W. (1986) Generalized fisheye view. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 16-23.

GAINES. B.R. et SHAW, M.L.G. (1983) Dialog engineering. *In* M.E. SIME et M.J. COOMBS (Eds) : Designing for Human-Computer Communication, London : Academic Press.

GAINES. B.R. et SHAW, M.L.G. (1986) From timesharing to the sixth generation: the development of human-computer interaction. Part 1. International Journal of Man-Machine Studies, 24, 1-27.

GALITZ, W.O. (1981) Handbook of screen for format design. Wellesley, Ma. : Q.E.D., Information Science, Inc.

GALAMBOS, J.A., WIKLER, E.S. et BLACK, J.B. (1983) How You Tell Yor Computer What You Mean : Ostension in Interactive Systems. Proc. CHI'83 Human Factors in Computing Systems (Boston, 12 au 15 décembre 1983), ACM, New York, 182-185.

GENTNER, D. et GENTNER, D.R., (1983) Flowing water or teeming crowds : Mental models of electricity. *In* D. GENTNER, et A.L. STEVENS (Eds), Mental Models, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

GENTNER, D. et STEVENS, A.L. (1983) Mental Models, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

GILFOIL, D. M. (1982) Warming up to computers : A study of cognitive and affective interaction over time. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 245-250.

GIROUX, L. (1983) La dimension cognitive de la bureautique. Actes du quatrième congrès de l'Association de la Recherche en Communication du Québec, Montréal, 3 p.

GIROUX, L. (1986) Communication et cognition : l'interaction usager-ordinateur, Communication et Information, 3 (1), 170-180.

GIROUX, L. (sous presse) L'ergonomie cognitive des systèmes informatiques, Actes du colloque: «L'intelligence artificielle et l'informatisation du bureau», CCRIT, Laval.

GIROUX, L. et BELLEAU, R. (1986) What's on the Menu : the Influence of Menu Content on the Selection Process. Behaviour and Information Technology.

GIROUX, L., BERGERON, G. et LAMARCHE, J.-P. (sous presse) Organisation sémantique des menus dans les banques de données. Le Travail Humain.

GODFREY, D., MADDEN, J., PARKHILL, D.F. et OUIMET, A. (1980) Gutenberg Two. Victoria : Press Porcepic.

GOMEZ, L.M., EGAN, D.E., WHEELER, E.A., SHARMA, D.K. et GRUCHACZ, A.M. (1983) How interface design determines who has difficulty learning to use a text editor. Proc. CHI'83 Human Factor in Computing System (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 176-184.

GOOD, M. (1985) The use of logging data in the design of a new text editor. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 93-98.

GOULD, J.D. (1980) Experiments on compsing letters : some facts, some myths, some observations. *In* L.W. GREGG et E.R., STEINBERG (Eds), Cognitive process in writing, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Earlbaum Associates.

GOULD, J.D. (1981) Convoying letters with computer based text-editors. Human Factors, 23, 593.

GOULD, J.D., LEWIS, C. et BARNES, V. (1985) Effects of cursor speed on text-editing. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 7-10.

GRANDJEAN, E. (1969) Précis d'ergonomie, Dunod, Paris.

GRICE, H.P. (1975) Logic and conversation. *In* P. COLES et J.L. MORGAN (Eds) Studies in Syntax, Vol. III. New York : Academic Press

GRUDIN, J. et BARNARD, P. (1985) When does an abbreviation become a word? And related questions. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 121-125.

GUILFORD, J. P. (1967) The nature of human intelligence. New York : McGraw-Hill.

HALASZ, F. G. et MORAN, T. P. (1982) Analogy considered harmful. *In* Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 383-386.

HALASZ, F. G. et MORAN, T. P. (1983) Mental models and problem solving using a calculator. Proc. CHI'83 Human Factor in Computing System (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 212-216.

HARRIS, D.H. (1986) Fundamentals of Human Factors Criteria for User Interface Design. Tutorial 9, CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 50 p.

HARTSON, H.R. (1985) Advances in Human-Computer Interaction, Vol.1, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

HARVEY, O. J., HUNT, D. et SCHRODER, H. (1961) Conceptual systems and Personality Organization. New York : Wiley.

HAYES, P.J. (1985) The utility of natural language interface. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 121-125.

HECKEL, P. (1984), The Elements of Friendly Software Design. Warner Books, New York, 205 p.

HEMENWAY, K. (1982), Psychological Issues in the Use of Icons in Command Menus. Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems, (Gaithersburg, Maryland, March 15-17) ACM, New York, 20-23.

HENDERSON, A. (1986) The Trillium User Interface Design Environment. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 221-227.

HEROT, C.F., (1984) Graphical user interface. *In* Y. VASSILIOU (Ed.), Human Factors and Interactive Computer System. Proc. of the New York Symposium on User Interfaces, (New York, 26 au 28 mai 1982), Norwood, New Jersey : Ablex Publishers Corporation. 83-104.

HERSH, H. (1982) Electronic Mail Usage Analysis. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 278-280.

HILTZ, S.R. (1983) On line communities. Norwood, New Jersey : Ablex Publishers Corporation.

HILTZ, S.R. et KERR, E.B. (1986) Learning modes and subsequent use of computer-madiated communication systems. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 149-155.

HILTZ, S.R. et TUROFF, M. (1978) The Network nation : human communication via computer, Mass : Addison-Wesley.

HILTZ, S.R. et TUROFF, M. (1985) Structuring computer-mediated communication systems to avoid information overload. Communication of the ACM, 28, (7), 680-689.

HINTON, G.E. et ANDERSON, J.A. (1981) Parallel models of associative memory. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

HIX, D. et HARTSON, R.H. (1986) An Interactive Environment for Dialogue Development : Its Design, Use, and Evaluation - or - Is Aide Useful? Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 228-234.

HOFFMANN, J., ZIESSLER, M. et SEIFERT, R. (1986) Psychological Methods for Assembling Procedures in Text Management Systems. *In* F. KLIX et H. WANDKE (Eds). Proc. of the First Network Seminar of the International Union of Psychological Science on Man Computer Interaction Research : MACINTER - I (Berlin RDA, 16 au 19 octobre), Amsterdam : North-Holland, 117-123.

HOLLNAGEL, E. et WOODS, D.D. (1983) Cognitive Systems Engineering: New Wine in New Bottles. International Journal of Man-Machine Studies, 18, 583-600.

HOLT, R.W., BOEHM-DAVIS, D.A. et SCHULTZ, A.C. (1986) The effects of structured, multi-level documentation. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 122-128.

HOWARD, D. V. (1983) Cognitive psychology : Memory, language and thought. New York : Macmillan Publishing Co.

HUDSON, L. (1968) Frames of mind. Harmondsworth : Penguin Books.

INGENITO, C. et GIROUX, L. (en préparation) Ergonomie cognitive et logiciels de bases de données, Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.

JAMES, E. B. (1981) The user interface : how we may compute. *In* M. J. COOMBS et J. L. ALTY (Eds) Computing skills and the user interface. New York : Academic Press.

JARKE, M. et VASSILIOU, Y. (1985) A framework for choosing a Database Query Language. Computing Surveys, 17, 313-340.

JOHN, B.N., ROSENBLOOM, P.S. et NEWELL, A. (1985) A Theory of Stimulus-Response Compatibility applied to Human-Computer Interaction. Proc. CHI'85,

Human Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 213-219.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1980) Mental Models in Cognitive Science. Cognitive Science, 4, 71-115.

JONES, W.P. (1986) The Memory Extender Personal Filing System. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 298-305.

KAGAN, J., ROSMAN, B. L., DAY, D., ALBERT, J. et PHILLIPS, N. (1964) Information processing in the child : significance of analytic and reflective attitudes. Psychological Monographs, 78.

KANTOWITZ, B.H. et SORKIN, R.D. (1983) Human Factors Understanding People-System Relationships. New York : John Wiley and Sons.

KARAT, J., BOYES, L., WEISGERBER, S. et SCHAFER, C. (1986) Transfer Between Word Processing Systems. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 67-71.

KENNEDY, T. C. S. (1975) Some behavioral factors affecting the training of naive users of an interactive computer system. International Journal of Man-Machine Studies, 7, 817-834.

KERR, E.B. et HILTZ, S.R. (1982) Computer mediated communication systems. New York : Academic Press.

KIERAS, D. et BOVAIR, S. (1984) The role of a mental model in learning to operate a device. Cognitive Science, 8, 255-274.

KIERAS, D. et POLSON, P.G., (1985) An approach to the formal analysis of user complexity. International Journal of Man-Machine Studies, 22, (4), 365-394.

KINKEAD, R. (1975) Typing speed, keying rates, and optimal keyboard layouts. Proc. of the 19th Annual meeting of the Human Factors Society.

KOCH, U. (1986) User Requirements in Natural Language Communication with Database Systems, *In* F. KLIX et H. WANDKE (Eds.) Proc. of the First Network Seminar of the International Union of Psychological Science in Man Computer Interaction Research : MACINTER - I (Berlin RDA, 1o au 19 octobre), Amsterdam : North-Holland, 285-294.

LACHMAN, R., LACHMAN, J. et BUTTERFIELD, E.C. (1979) Cognitive Psychology and Information Processing : An Introduction, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

LANDAUER, T.K., GALOTTI, K.M. et HARTWELL, S. (1983) Natural command names and initial learning : A study of text-editing terms, Communication of the ACM, 26, (7), 495-503.

LANDAUER, T.K. et NACHBAR, D.W. (1985) Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen : breadth, depth and width. Proc. CHI'85 Human

Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 73-78.

LAVILLE, A. (1976) L'ergonomie. Presses Universitaires de France, Paris.

LEDGARD, H. F., WHITESIDE, J. A., SEYMOUR, W. et SINGER, A. (1980) An experiment on human engineering of interactive software. IEEE Transactions on Software Engineering, SE-6, 6, 602-604.

LEE, S.K., BUXTON, W. et SMITH, K.C. (1985) A multi-touch three dimensional touch-sensitive tablet. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 21-26.

LEWIS, C. et MACK, R. (1982) Learning to use a text processing system: Evidence from "thinking aloud" protocols. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 387-392.

LICKLIDER, J.C.R. (1960) Man-Computer Symbiosis. Institute of Radio Engineers Transactions on Human Factors Electronics, AFE-1, 4-11.

LINDE, L. (1986) The information-seeker's mental model of the content of a data base. Actes de la 3e conférence européenne d'ergonomie cognitive, (Paris, 15-19 septembre 1986), INRIA, 129-138.

LINDSAY, P.H. et NORMAN, D.A., (1977) Human Information Processing, An Introduction to Psychology, 2e édition, New York : Academic Press.

LUCAS, R.W., CARD, W.I., KNILL-JONES, R.P., WATKINSON, G. et CREAN, G.P. (1976) Computer Interrogation of Patients. British Medical Journal, 2, 623.

MACK, R. (1985) Identifying and designing toward new user expectations in a prototype text-editor. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 139-141.

MAGERS, C.S. (1983) An experimental evaluation of on-line HELP for non programmers. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 277-281.

MAGUIRE, M. (1982) An Evaluation of Published Recommandations on the Design of Man-Computer Dialogues. International Journal of Man-Machine Studies, 16, 237-261.

MALONE, T.W. (1980) What Makes Thinks Fun to Learn ? A Study of Intrinsically Motivating Computer Games, Rapport technique #CIS-7, Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, Ca.

MALONE, T.W. (1981a) What Makes Computer Games Fun ? Byte, 6, 258-277.

MALONE, T.W. (1981b) Toward a Theory of Intrinsically Motivating Instruction. Cognitive Science, 5, sous presse.

MALONE, T.W. (1982) Heuristics for Designing Enjoyable User Interfaces: Lessons from Computer Games. Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems, (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 63-68.

MALONE, T.W., GRANT, K.R. et TURBAK, F.A. (1986) The information lens : an intelligent system for information sharing in organization. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 1-8.

MARK, W. (1986) Knowledge-Based Interface Design. *In* D.A. NORMAN et S.W. DRAPER (Eds) User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

MARTIN, J. (1973a) Design of man-computer dialogues. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall.

MARTIN, T.H. (1973b) The User Interface in Interactive Systems, Annual Review of Information Science and Technology, 8, 203-219.

MAYER, R.E. (1975) Different Problem Solving Competencies established in Learning Computer Programming with and without Meaningful Models. Journal of Educational Psychology, 67, 725-734.

MAYER, R.E. (1976) Some Conditions of Meaningful Learning for Computer Programming : Advance Organisers and Subject Control of Frame Order. Journal of Educational Psychology, 47 (6), 143-150.

McCLELLAND, J.L., RUMELHART D.E. et le PDP Reseach Group, (1986) Parallel Distributed Processing, Vol. II, Cambridge, Ma. : MIT Press.

McCLOSKEY,M. (1983) Naive theorie of motion. *In* D. GENTNER, et A.L. STEVENS (Eds), Mental Models, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

McCORMICK, E.J. et SANDERS, M.S., (1982) Human Factors in Engineering and Design. New York : McGraw-Hill.

McDONALD, N.H. (1982) A multi media approach to the user interface. *In* Y. VASSILIOU (Ed.) Human Factors and Interactive Computer System. Proc. of the New York Symposium on User Interfaces, (New York, 26 au 28 mai) 1982, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation. 47-82.

McKENDREE, J. et CARROLL, J.M. (1986) Advising Roles of a Computer Consultant. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 35-40.

MELTON, A.W., et BRIGGS, G.E. (1960) Engineering psychology. Annual review of psychology, 11, 71-98.

MINSKY, M.L. (1975) A Framework for Representing Knowledge. *In* P. WINSTON (Ed), The Psychology of Computer Vision. New York : McGraw-Hill.

MIYATA, Y. et NORMAN, D.A. (1986) Psychological issues in support of multiple activities. *In* D.A. NORMAN, et S.W. DRAPER (Eds) User centered system design. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Earlbaum Associates.

MORAN, T.P. (1978) Introduction to the Command Language Grammar. Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, CA.

MORAN, T.P. (1981a) An Applied Psychology of the User. Computing Surveys, 13,1, 1-11.

MORAN, T. P. (1981b) The Command Language Grammar : a representation for the user interface of interactive computer systems. International Journal of Man-Machine Studies, 15, 3-50.

MOSES, F.L. et EHRENREICH, S.L. (1981) Abbreviations for automated systems. Paper presented at the Human Factors Society Meeting, Rochester, New York.

MOSIER, J.N. et SMITH, S.L. (1986) Application of Guidelines for Designing User Interface Software. Behaviour and Information Technology, 5 (1), 39-46.

NAISBITT, J. (1984) Megatrends. New York : Warner Brother.

NAKATANI, L.H, EGAN, D., RUEDISUELI, L.W., HAWLEY, P.M. et LEWART, D.K. (1986) TNT : A Talking Tutor "N" Trainer for Teaching the Use of Interactive Computer Systems. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 29-34.

NAKATANI, L.H. et ROHRLICH, J.A. (1983) Soft Machines : A Philosophy of User-Computer Interface Design. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 19-23.

NEWELL, A. (1973) You can't play twenty questions with nature and win. *In* W.G. CHASE (Ed.), Visual Information Processing. New York : Academic Press.

NEWELL, A. et CARD, S. T. (1985) The prospects for psychological science in human-computer interaction. Human Computer Interaction, 1, 209-242.

NEWELL, A. et SIMON, H.A. (1972) Human Problem Solving. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall.

NICKERSON, R.S. (1977). On Conversational Interaction with Computers. *In* S. TREU (Ed) User-Oriented Design of Interative Graphic Systems, Association for Computing Machinery, New York, 101-103.

NICKERSON, R.S. (1981) Why interactive computer systems are sometimes not used by people who might benefit from them. International Journal of Man-Machine Studies, 15, 469-483.

NICKERSON, R.S. (1986) Using Computers : Human Factors in Information Systems. Cambridge, Mass. : Bradford Book, MIT Press.

NORMAN, D.A. (1980) Cognitive Engineering and Education. *In* D.T. TUMA et F. REIF (Eds) : Problem-Solving in Education, 97-107, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Earlbaum Associates.

NORMAN, D. A. (1981) The Trouble with Unix. Datamation, 27,139-150.

NORMAN, D. A. (1983a) Design Principles for Human-Computer Interfaces. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 1-10.

NORMAN, D. A. (1983b) Some observations on mental models. *In* D. GENTNER, et A.L. STEVENS (Eds), Mental Models, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

NORMAN, D.A. (1984) Stages and Levels in Human-Machine Interaction. International Journal of Man-Machines Studies, 21, 365-375.

NORMAN, D.A. (1986) Cognitive Engineering. in Norman et Draper (eds): User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

NORMAN, D.A. et DRAPER, S.W. (1986) User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

OBORNE, D.J. (1982). Ergonomics at work. Chichester : John Wiley and Sons.

OGDEN, W.C. et BROOKS, S.R. (1983) Query Languages for the casual user : exploring the middle ground between formal and natural languages. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 161-165.

OREN, S.S. (1974) A Mathematical Theory of Man-Machine Text Editing. IEEE Transaction on Systems, Man, Cybernetics, SMC-14 (3), 258-267.

PASK, G. (1976) Styles and strategies of learning. British Journal of Educational Psychology, 46, 128-148.

PAXTON, A. L. et TURNER, E. J. (1984) The application of human factors to the needs of the novice computer user. International Journal of Man-Machine Studies, 20, 137-156.

PAYNE, S.J. (1985) Task-Action Grammars : the Mental Representation of Task Languages in Human-Computer Interaction. Thèse de doctorat, Université de Sheffield.

POLLER, M.F. et GARTER, S.K. (1983) A Comparative Study of Moded and Modeless Text Editing By Experienced Editor Users. Proc. CHI'83 Human Factors in Computing Systems (Boston, 12 au 15 décembre 1983), ACM, New York, 166-170.

POLSON, P.G. et KIERAS, D.E., (1985) A Quantitative Model of the Learning and Performance of Text Editing Knowledge. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems (San Francisco, 14 au 18 avril 1985), ACM, New York, 207-212.

POLSON, P.G., MUNCHER, E. et ENGELBECK, G. (1986) A Test of a Common Elements Theory of Transfer. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 78-83.

QUINN, L. et RUSSELL, D.M. (1986) Intelligent Interfaces : User Modes and Planners. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 314-320.

RAMSEY, H.R. et ATWOOD, M.E. (1979) Human Factors in Computer Systems : A review of the literature. Technical Report #SAI-79-111-DEN, Englewood, Co. : Science Applications, Inc.

RAMSEY, H.R. et GRIMES, J.D. (1983) Human Factors in Interactive Computer Dialog. Annual Review of Information Sciences and Technology , 18, 29-59.

REICHMAN, R. (1985) Getting computers to talk like you and me. Cambridge, Mass. : MIT Press.

REISNER, P. (1981) Human factors studies of database query languages : a survey and assessment. Computing Survey, 3, (1),

RICH, E. (1983) Users are individuals : individualizing user models. International Journal of Man-Machine Studies, 18, 199-214.

RISSLAND, E.L. (1984) Ingredients of Intelligent User Interfaces. International Journal of Man-Machines Studies, 21, 377-388.

ROBERT, J.-M. (1986a) Some Highlights of Learning by Exploration. Proc. International Scientific Conference on "Work with Display Units", (Stockholm, 12 au 15 mai) Suède, 348-353.

ROBERT, J.-M. (1986b) An Approach for Verifying the Consistency of User Interfaces. Proc. International Scientific Conference on "Work with Display Units", (Stockholm, 12 au 15 mai) Suède, 516-521.

ROBERTS, T.L. (1979) Evaluation of Computer Text Editor, Thèse de doctorat, Départment d'informatique, Standford University. Réimprimé comme rapport technique #SSL79-9 Xerox Palo Alto Research Center Palo Alto, Ca.

ROBERTS, T.L. et MORAN, T.P. (1982) Evaluation of Text Editors, Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems. (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 136-141.

ROBERTS, T.L. et MORAN, T.P. (1983) The Evaluation of Text Editors : Methodology and Empirical Results. Communication of ACM, 26, (4), 265-283.

ROBERTSON, I.T. (1985) Human information-processing strategies and style. Behaviour and Information Technology, 14, 1, 19-29.

ROBERTSON, S.P. et BLACK, J.B. (1983) Planning Units in Text Editing Behavior. Proc. CHI'83 Human Factors in Computing Systems (Boston, 12 au 15 décembre 1983), ACM, New York, 217- 221.

ROBERTSON, G., McCRACKEN, D. et NEWELL, A. (1981) The zog approach to man-machine communication, International Journal of Man-Machine Studies, 14. 461-488.

ROEBUCK, J.H., KROEMER, K.H. et THOMPSON, W.G. (1975) Engineering Anthropometry Methods. New York : John Wiley and Sons.

ROEMER, J. M. et CHAPANIS, A. (1982) Learning performance and attitudes as a function of the reading grade level of a computer-presented tutorial. Proc. CHI'82 Human

Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 239-244.

ROHR, G. (1986) Conceptual primitives and their representation in understanding complex operations. Actes de la 3e conférence européenne d'ergonomie cognitive, (Paris, 15-19 septembre 1986), INRIA, 165-168.

ROSENBERG, J. A. (1982) Evaluating the suggestiveness of command names. Behaviour and information technology, 1, 371-400.

ROSENBERG, J. A. (1983) Featural Approach to Command Names. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 116-119.

ROSS, B.H. et MORAN, T.P. (1983) Remindings and their Effects in learning a text editor. Proc. CHI'83 Human Factors in Computing Systems (Boston, 12 au 15 décembre 1983), ACM, New York, 222-225.

ROSSON, M.B. (1983) Patterns of experience in text editing. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York, 171-175.

RUMELHART, D.E. (1975) Notes on a Schema for Stories. *In* D.G. BOBROW, D.G., and COLLINS, A.M., (Eds), Representations and Understanding : Studies in Cognitive Science, New York : Academic Press.

RUMELHART D.E., McCLELLAND, J.L. et le PDP Reseach Group (1986) Parallel Distributed Processing, Vol. I, Cambridge, Ma. : MIT Press.

RUMELHART, D.E. et NORMAN, D.A. (1982) Simulating a skilled typist : A study of skilled cognitive-motor performance. Cognitive Science, 6, 1-36.

SACERDOTI, E.D. (1977) A structure for plans and behavior. New York : Elsevier.

SANFORD, D.L. (1986) Using metacommunication to generate human-human communication protocols at the human-computer interface. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, April 13-17) ACM, New York, p. 353.

SAUTER, S.L., GOTTLIEB, M.S., JONES, K.C., DODSON, B.N. et ROHRER, K.M., (1983) Job and health implications of VDT use : Initial results of the Wisconsin-NIOSH study. Communication of the ACM, 26, (4), 264-294.

SCAPIN, D. (1981) Computer commands in restricted natural language : Some aspects of memory and experience. Human Factors, 23, 365-375.

SCAPIN, D. (1982) Computer Commands Labelled by Users Versus Imposed Commands and the Effect of Structuring Rules on Recall. Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems, (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 17-19.

SCHANK, R.C. (1972) Conceptual Dependency : A Theory of Natural Language Understanding. Cognitive Psychology, 3, 552-631.

SCHANK, R.C. et ABELSON, R. (1977) Scripts, Plans, Goals and Understanding. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

SCHMANDT, C. (1985) Voice Communication with Computers. *In* H.R. HARTSON (Ed) Advances in Human-Computer Interaction, Vol.1, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

SCHMANDT, C. et HULTEEN, E.A. (1982) The Intelligent Voice-Interactive Interface. Proc. CHI'82, Human Factors in Computing Systems, (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 363-366.

SCHNEIDER, M.L., NUDELMAN, S. et HIRSH-PASEK, K. (1982) An analysis of line numbering strategies in text editors. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 148-151.

SEARLE, J.R. (1969) Speech Acts. Cambridge : Cambridge University Press.

SEIBEL, R. (1972) Data entry devices and procedures. *In* H.P. VAN COTT et R.G. KINKADE (Eds) Human Engineering Guide to Equipment Design, Revised ed. Washington, D.C. : U.S. Government Printing Office. 311-344.

SHACKEL, B. (1984) Information Technology - A challenge to ergonomics and design. Behaviour and Information Technology, 3, (4) 263-275.

SHACKEL, B. (1985) Ergonomics in Information Technology in Europe - A Review. Behaviour and Information Technology, 4 ,(4) 263-287.

SHNEIDERMAN, B. (1979) Human Factors Experiments in Designing Interactive Systems. Computer, 12, 9-24.

SHNEIDERMAN, B. (1980a) Software Psychology, Cambridge, MA. : Winthrop.

SHNEIDERMAN, B. (1980b) System Message design : Guidelines and experimental results. *In* A. BADRE et B. SHNEIDERMAN (Eds.), Directions in Human-Computer Interaction, Norwood, New Jersey : Ablex Publishers.

SHNEIDERMAN, B. (1982) The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. Behaviour and Information Technology, 1, (3), 237-256.

SHNEIDERMAN, B. (1986a) Direct manipulation: an object-oriented visual programming language. Tutorial: CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York.

SHNEIDERMAN, B. (1986b) Seven plus or minus two central issues in human-computer interaction. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems, (Boston, 13 au 17 avril) ACM, New York, 343-349.

SHURTLEFF, D.A. (1980) How to make displays legible. La Mirada, Ca. : Human Interface Design.

SLEEMAN, D. et BROWN, J.S. (1982) Intelligent Tutoring Systems, New York : Academic Press.

SMALL, D.W. (1983) An experimental comparison of natural and structured Query languages. Human Factors, 25, (3), 253-263.

SMITH, S.L. (1986) Standards versus Guidelines for Designing User Interface Software. Behaviour and Information Technology, 5, (3), 47-61.

SMITH, S.L. et MOSIER, J.N. (1984) The User Interface to Computer-Based Information Systems : a Survey of current Software Design Practice. Behaviour and Information Technology, 3 (3), 95-203.

STEVENS, G.C. (1983) User-friendly Computer Systems ? A critical Examination of the Concept. Behaviour and Information Technology, 2(1), 3-16.

STEWART, T.F.M. (1981) The Specialist User. *In* B. SHACKEL (Ed) Man-Computer Interaction : Human factors aspects of computers and people. Rockville, Maryland : Sijthoff and Noordhoff.

STREITZ, N.A. (1986) Cognitive Ergonomics : An approach for the design of user-oriented interactive systems. *In* KLIX, F., and WANDKE, H. (Eds.), Proc. of the First Network Seminar of the International Union of Psychological Science on Man Computer Interaction Research : MACINTER - I (Berlin RDA, 16 au 19 octobre), Amsterdam : North-Holland, 21-34.

SULLIVAN, M. et COHEN, P.R. (1985) An Endorsement-Based Plan Recognition Program. Proc. Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence, AUCHI'85, (Los Angeles, 18 au 23 août) CA., Vol.1, 475-479.

TAGG, W. (1974) Programming languages for school use. Computer Education, 16, 11-22.

TEITELBAUM, R.C. et GRANDA, R.E. (1983) The Effects of Positional Constancy on Searching Menus for Information. Proc. CHI'83, Human Factors in Computing Systems, (Boston, 12 au 15 décembre) ACM, New York,150-153.

THOMAS, J.C. et SCHNEIDER, M.L. (1984), Human Factors in Computer Systems. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

TOFFLER, A. (1980) The Third Wave, New York : Bantam.

TOONG, H.D. et GUPTA, A. (1982) Personal Computer. Scientific American, 247 (6), 86-107.

TOU, F.N., WILLIAMS, M.D., FIKES, R., HENDERSON, R. et MALONE, A.T. (1982) RABBIT : An Intelligent Database Assistant. Proc. of the AAAI'82 Cognitive and Instructional Sciences Group, (Pittsburg, 16 au 20 août) Xerox PARC, Ca.

TURING, A.M. (1950) Computing Machinery and Intelligence. Mind, 59, 433-450.

TURNER, J.A., JARKE, M., STOHR, E.A. et VASSILIOU, Y. (1984) Using restricted natural language for data retrieval : a plan for field evaluation. *In* Y. VASSILIOU (Ed.) Human Factors and Interactive Computer System. Proc. of the New York Symposium on User Interfaces, (New York, 26 au 28 mai) 1982, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation. 163-190.

TUROFF, M., HILTZ, S.R. et KERR, E.B. (1982) Controversies in the design of Computer-Mediated Communications Systems : A Delphi Study. Proc. CHI'82 Human Factor in Computing System (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars) ACM, New York, 89-100.

TYLER, S., ROTH, S. et POST, T. (1982) The Acquisition of Text Editing Skills. Proc. CHI'82 Human Factors in Computing Systems (Gaithersburg, Maryland, 15 au 17 mars 1982), ACM, New York, 324-325.

VALLEE, J. (1976) There ain't no user science : A tongue-in-cheek discussion of interactive systems. Proc. of the American Society for Information Science Annual Meeting 13, San Francisco.

VAN DER VEER, G. C. et BEISHUIZEN, J. J. (1986) Learning styles in conversation - a practical application of Pask's learning theory to human-computer interaction. *In* F. KLIX et H. WANDKE (Eds.) Proc. of the First Network Seminar of the International Union of Psychological Science on Man Computer Interaction Research : MACINTER - I (Berlin RDA, 16 au 19 octobre), Amsterdam : North-Holland,195-205.

VAN DER VEER, G. C., TAUBER, M. J., WAERN, Y. et VAN MUYLIJK, B. (1985) On the interaction between system and user characteristics. Behaviour and Information Technology, 4, 4, 289-308.

VASSILIOU, Y. (1984) Human Factors and Interactive Computer System. Proc. of the New York Symposium on User Interfaces, (New York, 26 au 28 mai) 1982, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

VASSILIOU, Y. et JARKE, M. (1984) Query Language - A taxonomy. *In* Y. VASSILIOU (Ed.) Human Factors and Interactive Computer System. Proc. of the New York Symposium on User Interfaces, (New York, 26 au 28 mai) 1982, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation. 47-82.

WEBSTER, W. G., WALKER, A. D. (1981) Problem solving strategies and manifest brain assymetry. Cortex, 14, 474-484.

WEIZENBAUM, J. (1976) Computer power and human reason : From judgment to calculation. San Francisco : Freeman.

WHITESIDE, J., JONES, S., LEVY, P.S. et WIXON, D. (1985) User Performance with Command, Menu, and Iconic Interfaces. Proc. CHI'85 Human Factors in Computing Systems, (San Francisco, 14 au 18 avril) ACM, New York, 185-191.

WINOGRAD, T., DAVIS, R. et DREYFUS, S. (1985) Expert systems : How far can they go ? Proc. Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence, AIJCHI'85, (Los Angeles, 18 au 23 août) CA., Vol 2, p. 1305.

WINOGRAD T. et FLORES, F. (1986) Understanding Computers and Cognition : a new Foundation for Design. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

WISER, M. et CAREY, S. (1983) When heat and temperature were one. *In* D. GENTNER, et A.L. STEVENS (Eds), Mental Models, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

WRIGHT, P. et LICKORISH, A. (1983) Proof-reading texts on screen and paper. Behaviour and Information Technology, 2, (3), 227-235.

YAMADA, H. (1980) A historical study of typewriting and typing methods : From the position of planning japanese parallels. Journal of Information Processing, 2, 179-202.

YOUNG, R.M. (1981) The Machine Inside the Machine : Users' Models of Pocket Calculators. International Journal of Man-Machine Studies, 15, 51- 85.

YOUNG, R.M. (1983) Surrogates and mappings: two kinds of conceptual models for interactive devices. *In* D. GENTNER, et A.L. STEVENS (Eds), Mental Models, Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

ZIEGLER, J.E., HOPPE, H.U. et FAHNRICH, K.P. (1986) Learning and Transfer for Text and Graphics Editing With a Direct Manipulation Interface. Proc. CHI'86 Human Factors in Computing Systems (Boston, 13 au 17 avril 1986), ACM, New York, 72-77.

ZIEGLER, J.E., VOSSON, P.H., et HOPPE, H.U. (1986) On using production systems for cognitive task analysis and prediction of transfer of cognitive skill. Actes de la 3e conférence européenne d'ergonomie cognitive, (Paris, 15-19 septembre 1986), INRIA, 115-128.

ZLOOF, M.M. (1983) The Query-by-Example concept for user-oriented business systems. *In* M.E. SIME, et M.J. COOMBS, (Eds) : Designing for Human-Computer Interaction. London : Academic press. 285-310.